

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

CRESCIMENTO INICIAL, TROCAS GASOSAS E STATUS HÍDRICO DE CLONES DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO

SANDRO DAN TATAGIBA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação, para obtenção do título de mestre em Produção Vegetal.

Orientador:

Prof. Dr. José E. Macedo Pezzopane

Co-orientadores:

Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis

Dr. Ricardo Miguel Penchel Filho

**ALEGRE
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
FEVEREIRO - 2006**

CRESCIMENTO INICIAL, TROCAS GASOSAS E STATUS HÍDRICO DE CLONES DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO

SANDRO DAN TATAGIBA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação, para obtenção do título de mestre em Produção Vegetal.

Aprovada: 24 de fevereiro de 2006

Dr. Ricardo Miguel Penchel Filho
Aracruz Celulose
(Co-orientador)

Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis
Universidade Federal do Espírito Santo
(Co-orientador)

Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Geraldo Gonçalves Reis
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)

DEDICATÓRIA

A Deus

Aos meus pais, Josmar e Vera, pelo amor, carinho e apoio incondicional durante toda a minha formação.

A minha irmã Marielle e minha namorada Jamilla, pela confiança e eterno apoio.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de realização do curso.

Aos órgãos financiadores da pesquisa, Fundação Ceciliano Abel de Almeida e, em especial a Aracruz Celulose S/A, pela bolsa de estudo.

Aos professores José Eduardo Macedo Pezzopane e Edvaldo Fialho dos Reis, pela amizade, confiança, ensinamentos e orientação ao longo de todos esses anos.

Ao pesquisador Ricardo Miguel Penchel Filho, pela atenção prestada e colaboração no desenvolvimento do presente trabalho.

A toda equipe e amigos da pós-graduação, pelo convívio e amizade.

Aos funcionários da Aracruz Celulose S/A e do Núcleo de Estudos e Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável, pela amizade e contribuição durante a coleta dos dados.

BIOGRAFIA

SANDRO DAN TATAGIBA, filho de Josmar Feliciano Tatagiba e Vera Lúcia Dan Tatagiba, nasceu em 8 de agosto de 1980, na cidade de Cachoeiro de Itapemirim, ES.

Concluiu o segundo grau, no Colégio Jesus Cristo Rei.

Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 1998, graduando-se Engenheiro Agrônomo em novembro de 2003.

Em março de 2004, iniciou o Curso de Mestrado em Produção Vegetal, na Universidade Federal do Espírito Santo, concluindo em fevereiro de 2006.

ÍNDICE

	Páginas
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO GERAL.....	xiii
ABSTRACT GENERAL.....	xv
I. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
II. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
1. Variáveis envolvidas nas trocas gasosas e no status hídrico das plantas.....	4
1.1. Condutância estomática.....	5
1.2. Transpiração.....	7
1.3. Potencial hídrico foliar.....	8
1.4. Fotossíntese.....	8
2. Características de crescimento.....	10
3. Modificações morfológicas.....	12
4. Variáveis climáticas.....	13
III. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
IV. CAPÍTULOS.....	20
CAPÍTULO 1	
AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CLONES DE <i>EUCALYPTUS</i> SOB DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO	
RESUMO.....	20

ABSTRACT.....	22
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
2.1. Material experimental e delineamento estatístico.....	26
2.2. Descrição das características avaliadas.....	29
2.2.1. Características microclimáticas.....	29
2.2.2. Características de crescimento.....	29
2.3. Água disponível e lâmina de irrigação.....	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
3.1. Caracterização do microclima e do teor de água no solo durante o período experimental.....	32
3.2. Caracterização do crescimento e produção na fase inicial do experimento.....	35
3.2.1. Avaliação do crescimento e produção dos clones de eucalipto em cada manejo hídrico.....	37
3.2.2. Avaliação do crescimento e produção individual de cada clone de eucalipto nos manejos hídricos.....	46
4. CONCLUSÕES.....	52
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
CAPÍTULO 2	
TROCAS GASOSAS E STATUS HÍDRICO DE CLONES DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO	
RESUMO.....	56
ABSTRACT.....	58
1. INTRODUÇÃO.....	60
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.1. Material experimental e delineamento estatístico.....	62
2.2. Descrição das características avaliadas.....	64
2.2.1. Características microclimáticas.....	64
2.2.2. Características fisiológicas.....	66
2.3. Água disponível e lâmina de irrigação.....	69
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71

3.1. Primeira Campanha de Campo - Trocas gasosas e potencial hídrico foliar sob dois manejos hídricos.....	71
3.2. Segunda Campanha de Campo - Trocas gasosas e potencial hídrico foliar sob três manejos hídricos.....	86
4. CONCLUSÕES.....	99
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
V. CONCLUSÕES GERAIS.....	104
VI. ANEXOS.....	106

LISTAS DE TABELAS

Páginas

CAPÍTULO 1

1. Análise granulométrica das proporções existentes de cada fração no substrato.....28
2. Matéria seca das folhas, haste e ramos, raiz, e total, área foliar, altura, diâmetro do coleto e relação raiz/parte aérea de plantas de seis clones de eucalipto, no início do período experimental (Transplântio).....35
3. Matéria seca de folhas, haste e ramos, raiz, e total, área foliar, altura, diâmetro do coleto e relação raiz/parte aérea de plantas de seis clones de eucalipto, antes da aplicação dos tratamentos de irrigação aos 120 dias de experimentação.....36

CAPÍTULO 2

1. Análise granulométrica das proporções existentes de cada fração no substrato.....63

LISTA DE FIGURAS

Páginas

CAPÍTULO 1

1. Detalhe do vaso de 100 dm ³ e de sua vedação.....	27
2. Aspecto geral do experimento, em Jerônimo Monteiro, ES (latitude 20°47'25"S e longitude 41°23'48"W, a altitude de 120m), no período de 02 fevereiro a 12 outubro de 2005.....	27
3. Esquema mostrando os níveis dos manejos hídricos adotados durante todo o período experimental.....	29
4. Valores mensais da precipitação pluviométrica, radiação solar incidente, temperatura média (T_m), máxima(T_{max}) mínima(T_{min}) e umidade relativa média (UR_m), máxima(UR_{max}) mínima(UR_{min}) , medidas na estação meteorológica automática durante o período experimental, entre 02 de fevereiro a 12 de outubro de 2005.....	33
5. Variação da umidade do substrato nos respectivos manejos hídricos adotados nos vasos, medido a 30 cm de profundidade, durante o período experimental, entre 02 de fevereiro e 12 de outubro de 2005.....	34
6. Matéria seca total (%) de raiz, haste e ramos, e folhas de plantas de seis clones de eucalipto, no início do período experimental (Transplântio).....	36
7. Matéria seca total (%) de raiz, haste e ramos, e folhas de plantas de seis clones de eucalipto, antes da aplicação dos tratamentos de irrigação aos 120 dias de experimentação.....	36

8. Matéria seca total (folhas, haste e ramos e raízes) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit -(d1) déficit 1, (d2)-déficit 2, no final do experimento.....	38
9. Relação raiz/parte aérea de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, (d1)-déficit 1, (d2)-déficit 2, no final do experimento.....	41
10. Área foliar de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, (d1)-déficit 1, (d2)-déficit 2, no final do experimento.....	42
11. Altura de seis clones de eucalipto crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, (d1)-déficit 1, (d2)-déficit 2, no final do experimento.....	44
12. Diâmetro do coleto de seis clones de eucalipto crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, (d1)-déficit 1, (d2)-déficit 2, no final do experimento.....	45
13. Matéria seca total de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, no final do experimento.....	47
14. Relação raiz/parte aérea de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, no final do experimento.....	48
15. Área foliar de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, no final do experimento.....	49
16. Altura de seis clones e eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, no final do experimento.....	50
17. Diâmetro do coleto de seis clones e eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, no final do experimento.....	50

CAPÍTULO 2

1. Variação da umidade do substrato nos respectivos manejos hídricos adotados nos vasos, medido a 30 cm de profundidade, durante o período experimental, entre 02 de fevereiro e 12 de outubro de 2005.....	65
2. IRGAS utilizados nas avaliações das trocas gasosas durante as duas campanhas de campo. (a) IRGA modelo Li-6400 da LICOR com fonte luminosa fixa acoplada (b) IRGA modelo LCA-4 da ADC, sem fonte luminosa, recebendo somente a radiação solar incidente, (c) medições das trocas gasosas no campo.....	67

3. (a) Detalhe da bomba da Sholander, (b) medições do potencial hídrico foliar no campo.....	68
4. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E) realizado às 10:00 horas, e potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_h) de plantas de seis clones de eucalipto crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, (d)-déficit.....	72
5. Relação entre a umidade do substrato e o potencial hídrico foliar antemanhã, média das leituras realizadas a 30 cm de profundidade. Os valores de potencial hídrico foliar antemanhã correspondem à média geral de quatro leituras para todos os seis clones (* - significativo a 5%).....	74
6. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E) realizada às 10:00 horas e potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_h) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.....	76
7. Fotossíntese líquida (A) ao longo do dia 03 de agosto de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.....	77
8. Condutância estomática (Gs) ao longo do dia 03 de agosto de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.....	79
9. Radiação solar incidente (Rg), temperatura média do ar (T), umidade relativa média (UR) e déficit pressão de vapor médio (DPV) ao longo do dia 03 de agosto.....	81
10. Transpiração (E) ao longo do dia 03 de agosto de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.....	83
11. Potencial hídrico (ψ_h) foliar antemanhã ao longo do dia 03 de agosto de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.....	85
12. Fotossíntese líquida (A) e condutância estomática (Gs) realizada às 10:00 horas de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, (d1)-déficit 1, (d2)-déficit 2.....	87
13. Transpiração realizada às 10:00 horas (E) e potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_h) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos	

sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, (d1)-déficit 1, (d2)-déficit 2.....	88
14. Transpiração realizada às 10:00 horas (E) e potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_h) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.....	88
15. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E) realizada às 10:00 horas e potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_h) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.....	90
16. Fotossíntese líquida (A) ao longo do dia 12 de outubro de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.....	93
17. Condutância estomática (Gs) ao longo do dia 12 de outubro de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.....	94
18. Transpiração (E) ao longo do dia 12 de outubro de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.....	96
19. Potencial hídrico foliar (ψ_h) ao longo do dia 12 de outubro de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.....	97
19. Radiação solar incidente (Rg), temperatura média do ar (T), umidade relativa média (UR) e déficit pressão de vapor médio (DPV) ao longo do dia 12 de outubro.....	98

RESUMO GERAL

Tatagiba, Sandro Dan, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, fevereiro de 2006. **Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação.** Orientador: José Eduardo Macedo Pezzopane. Co-orientadores: Edvaldo Fialho dos Reis e Ricardo Miguel Penchel Filho.

O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito do déficit hídrico sobre as características de crescimento: diâmetro do coleto; altura das plantas; área foliar; relação raiz/parte aérea; matéria seca de: folhas, haste e ramos, raízes e total; e as características fisiológicas das trocas gasosas (fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração) e potencial hídrico foliar, em seis clones de eucalipto (1, 2, 3, 4, 5 e 6) crescendo em vasos plásticos de diâmetro de 42 cm e altura de 72 cm, com aproximadamente 100 dm³, de modo a subsidiar a seleção desses materiais genéticos para estabelecimento em áreas com disponibilidade diferenciada de água no solo. Foram avaliadas algumas variáveis climáticas durante todo o período experimental, a fim determinar a condição no ambiente em estudo. As plantas cresceram nos vasos com teor de água próximo a capacidade de campo por um período de 150 dias, quando, então, foram iniciados os manejos hídricos diferenciados até o final do experimento que durou cerca de 250 dias. Os manejos hídricos aplicados foram: sem déficit - manutenção dos vasos próximo à capacidade de campo ao longo de todo o período experimental, ou seja, 250 dias; déficit 1 - corte da irrigação aos 150 dias de experimentação, durante 45 dias e posterior retomada da irrigação por mais 55 dias; déficit 2 - corte da irrigação aos 150 dias de experimentação, prolongando até o final do experimento (100 dias de déficit hídrico). O clone mais afetado pela deficiência hídrica foi o 3, apresentando menor acúmulo

de matéria seca total e maior redução em área foliar, provocada principalmente pela abscisão foliar. Contrariamente, os clones 1, 2, 4 foram os mais tolerantes aos efeitos do déficit hídrico, em razão de terem apresentado maior acúmulo de matéria seca total. De modo geral, o déficit hídrico promoveu a redução dos valores da fotossíntese, condutância estomática, e transpiração foliar de todos os clones. Os clones 1, 2 e 4 apresentaram os valores mais altos de potencial hídrico foliar nas plantas submetidas ao déficit hídrico ao longo das campanhas realizadas, mostrando obter mecanismos eficientes no controle de perda de água, já que apresentaram as menores taxas transpiratórias e menores valores de condutância estomática. Pressupõe-se que o aparato fisiológico destes clones permita alcançar um menor consumo de água, favorecendo a planta a suportar um período mais longo de déficit hídrico, e possibilitando uma maior conversão de CO₂ atmosférico em carboidrato por período maior de tempo. O clone 3 apresentou menores valores de fotossíntese, condutância estomática e transpiração quando submetido ao déficit hídrico nas duas campanhas realizadas. O clone 6 apresentou maior transpiração no nível de manejo sem déficit e sob déficit em relação aos demais clones, sugerindo elevado consumo de água pelas plantas. Após a retomada da irrigação, todos os clones recuperaram suas taxas fotossintéticas similares às registradas pelos clones mantidos sem déficit, contribuindo para acréscimos na matéria seca total das plantas.

Palavras-chave: eucalipto, clone, déficit hídrico, características de crescimento, características fisiológicas, variáveis climáticas.

GENERAL ABSTRACT

Tatagiba, Sandro Dan, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, february, 2006. **Initial growth, gaseous changes and water status of eucalyptus clones under different irrigation regimes.** Adviser: José Eduardo Macedo Pezzopane. Co-advisers: Edvaldo Fialho dos Reis and Ricardo Miguel Penchel Filho.

The objective of this study was to evaluate the effect of the deficit water on the following growth characteristics: diameter of the stem; height of the plants; foliate area; relationship root/aerial part; dry matter: of the leaves, stem and branches, roots and total; and the physiologic characteristics of the gaseous changes (liquid photosynthesis, stomatal conductance, transpiration) and leaf potential water, in six eucalyptus clones (1, 2, 3, 4, 5 and 6) growing in plastic vases of diameter of 42 cm and height of 72 cm, with approximately 100 dm³, in way to subsidize the selection of these genetic materials for establishment in areas with differentiated readiness of water in the soil. Some variable climatics were evaluated during all the experimental period, to determine the condition in the environment in studying. The plants grew in the vases with tenor of water close to the field capacity for a period of 150 days, when, then, were initiated the differentiated handlings of water until the end of the experiment that lasted about 250 days. The water handlings applied were: without deficit- maintenance of the vases near to the field capacity along the whole experimental period, in other words, 250 days; deficit 1- irrigation cutting to the 150 days of experimentation, during 45 days and subsequent retaking of the irrigation for more 55 days; deficit 2- irrigation cutting to the 150 days of experimentation, prolonging until the end of the experiment (100 days of deficit water). The most affected clone was 3, introducing smaller accumulation of matter total dry and larger reduction in foliate area, provoked mainly by foliate abscission. Contrarily,

the clones 1, 2, and 4 were the most tolerant to the water deficit effects, in reason of having presented a larger accumulation of matter total dry. In general, the water deficit promoted the reduction of the values of the photosynthesis, the stomatal conductance and the transpiration of all of the clones. The clones 1, 2 and 4 presented the highest values of the leaf water potential in the plants submitted to the water deficit along the accomplished campaigns, showing to obtain efficient mechanisms in the control of losing water, since they presented the smallest transpiration rate and smaller values of stomatal conductance. It is presupposed that the physiologic apparatus of these clones allow to reach a smaller consumption of water, favoring the plant to support a longer period of water deficit , and making possible a larger conversion of at atmospheric CO₂ in carbohydrate for a larger period of time. The clone 3 presented smaller photosynthesis values, stomatal conductance and transpiration when submitted to the ware deficit in the two accomplished campaigns. The clone 6 presented larger transpiration in the handling level without deficit and under deficit in relation to the other clones, suggesting high consumption of water by the plants. After the irrigation retaking, all the clones recovered their similar photosynthesis rate to the ones registered by the clones maintained without deficit, contributing to increments in the matter total dry of the plants.

Key-words: eucalyptus, clone, water deficit, growth characteristic, physiologic characteristic, variable climatic.

I. INTRODUÇÃO GERAL

Originário da Austrália e de ilhas adjacentes, o gênero *Eucalyptus* compõe-se de grande quantidade de espécies, as quais apresentam dispersão natural em um número variado de habitats. Devido a sua ampla capacidade de adaptação, diversidade de uso e ao rápido crescimento, no Brasil o plantio florestal tem aumentado nos últimos 20 anos, ocupando uma área de 4,8 milhões de hectares em 2000, sendo 3,0 milhões de plantios florestais de eucalipto. Destes, 65% estão concentrados no Estados de Minas Gerais, Paraná e São Paulo, ocupando apenas 4,64% da área total destes Estados (SBS, 2001). O Espírito Santo possui um total de 152.330 ha de plantações de eucalipto (SBS, 2001), ocupando apenas 3,3% da área total do Estado (IBGE, 2002).

A seleção de materiais genéticos de eucalipto resistentes ao déficit hídrico é de grande interesse, principalmente em regiões localizadas em áreas que apresentam regime pluviométrico anual irregular e escasso, associado à altas temperaturas e elevada evaporação causada pela demanda evaporativa do ar e altos níveis de radiação. A seleção de materiais genéticos é dificultada, uma vez que, a resposta ao estresse ambiental, provocado pela deficiência hídrica é diferenciada em cada um deles. Dessa forma, torna-se importante o estudo visando a seleção precoce de materiais genéticos para reflorestamento, já que os riscos de insucesso são elevados.

Os testes de espécies e procedências e os testes clonais têm sido utilizados para recomendar materiais genéticos para condições ambientais específicas (Frampton & Foster, 1993). A sobrevivência de plantas em regiões com

deficiência hídrica no solo envolve mecanismos relacionados com a eficiência na absorção de água pelas raízes e com a perda de água pela planta (Larcher, 2004; Kozlowski & Pallardy, 1996). Dessa forma, faz-se necessário identificar mecanismos relativos à produção e distribuição de raízes, em adição àqueles relacionados à parte aérea da planta, na tentativa de separar materiais genéticos distintos quanto à resistência ao déficit hídrico.

Medições das trocas gasosas em plantios florestais de regiões com diferentes características de clima e solo têm sido utilizadas como ferramenta para avaliar, em nível pontual, as respostas da produtividade primária de espécies florestais diante das variações diurnas e/ou sazonais, Mielke (1997), Chaves (2001), Oliveira et al. (2002) Lima et al. (2003). Façanha (1983) analisou, em plantas jovens de eucalipto, a condutância estomática, transpiração e fotossíntese, em conjunto com as características de crescimento, para selecionar espécies resistentes à seca.

Dessa forma, o presente estudo visa estudar o crescimento, produção e o comportamento ecofisiológico de clones de eucalipto adaptados as diferentes condições hídricas no substrato.

II. REVISÃO DE LITERATURA

O uso de material genético de eucalipto capaz de se estabelecer e se desenvolver em condições de deficiência hídrica no solo pode ser de relevância para o êxito de um povoamento florestal. A identificação desses genótipos para implantação em condições ambientais com deficiência hídrica no solo é um desafio para as empresas florestais.

A seleção de procedências de eucalipto resistentes à seca permite o cultivo de materiais genéticos mais produtivos em áreas com reduzida disponibilidade hídrica. Li et al. (2000), estudando a eficiência no uso de água em mudas de 12 procedências de *Eucalyptus microtheca* em sítios com diferentes disponibilidades hídricas, observaram que mudas de procedências de regiões mais secas exibiram taxas transpiratórias menores do que aquelas de regiões mais úmidas. Esse fato sugere a existência de adaptação dos genótipos à variação na disponibilidade hídrica, podendo estar relacionada, dentre outras, com a regulação estomática.

A maioria das espécies de eucalipto utilizada em plantios comerciais apresenta elevado consumo hídrico, quando este recurso é facilmente disponível. Entretanto, à medida que a disponibilidade de água no sistema diminui, há controle da transpiração, em decorrência do fechamento parcial ou total dos estômatos (Pereira et al., 1986; Gonçalves, 1992; Roberts et al., 1992; Chaves et al., 2004).

O movimento estomático é o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores. Através dos estômatos ocorre o influxo de CO₂, necessário ao processo fotossintético e ao crescimento, e o efluxo de água, por meio da transpiração (Baldochi et al., 1991; Nobel, 1991; Larcher, 2004; Taiz & Zeiger, 2004). Para a grande maioria das espécies, o fechamento estomático ocorre após

reduções da disponibilidade hídrica do solo (Taiz & Zeiger, 2004). Além da disponibilidade de água no solo, o movimento dos estômatos pode ser diretamente influenciado pela radiação solar, déficit de pressão de vapor, concentração de CO₂ na atmosfera e a temperatura do ar (Baldochi et al., 1991; Hinckley & Braatne, 1994).

A resposta da condutância estomática às variações na disponibilidade de água no solo e na demanda evaporativa da atmosfera, entretanto, não é um fenômeno universal (Mielke, 1997). Nesse caso, diferenças marcantes têm sido verificadas entre diferentes espécies e/ou procedências de eucalipto (Calder, 1992; Lima, 1993; Florence, 1996). Li (1998b) avaliou mudas de diversas procedências de *Eucalyptus microtheca* submetidas ao déficit hídrico e encontrou diferenças na área foliar e na relação raiz/parte aérea das mudas, sendo que essas características foram relacionadas com a procedência da espécie. Dessa forma, pelo fato de existir variação na adaptação às condições hídricas de regiões específicas, muitas empresas florestais têm buscado obter materiais genéticos aptos às condições ambientais prevalecentes.

Medições do potencial hídrico foliar podem, também, fornecer informações que permitam identificar o status hídrico em que se encontram as plantas. Para a maioria das espécies, o potencial hídrico acompanha as variações diurnas da demanda evaporativa da atmosfera, atingindo um valor máximo logo antes do nascer do sol. Nesse momento, as plantas encontram-se com a máxima turgescência possível para uma dada condição hídrica no solo (Kramer & Boyer, 1995). Dessa forma, o potencial hídrico antemanhã, tem sido considerado um indicativo do estado hídrico das plantas, bem como da quantidade de água disponível no solo (Larcher, 2004; Taiz & Zeiger, 2004).

1. Variáveis envolvidas nas trocas gasosas e no status hídrico das plantas

O efeito do estresse hídrico sobre o vegetal é muito variado e depende principalmente da intensidade a que a planta está submetida. Uma redução na condutância estomática afeta uma série de interações planta – ambiente, uma vez que os estômatos controlam o fluxo de vapor d' água e balanço de energia entre o vegetal e o ambiente. Embora a redução de perda de água possa representar uma vantagem imediata para prevenir a desidratação do tecido, esta, no entanto, pode

afetar diretamente o balanço de calor sensível sobre o vegetal, e a absorção de CO₂, (Brunini & Cardoso, 1998).

Lima et al. (2003) analisando as trocas gasosas em cinco espécies de *Eucalyptus* (*E.grandis*, *E.urophylla*, *E.camaldulenses*, *E.torelliana* e *E. pharotrica*), submetidas ao aumento na concentração de CO₂ e a interação com o estresse hídrico, observaram que as taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração foram menores em todas as plantas submetidas ao déficit hídrico, quando comparada com as mesmas plantas irrigadas. O efeito do estresse hídrico no fechamento dos estômatos foi similar em ambas as concentrações de CO₂ utilizadas, embora os efeitos positivos do aumento da concentração de CO₂ dentro da câmara sobre a fotossíntese e a eficiência do uso de água se manteve por um período comparativamente mais longo.

Percebe-se, assim, que a compreensão da adaptação e aclimação de plantas ao déficit hídrico é de grande importância para avaliar a tolerância das plantas ao ambiente natural ou às condições controladas. No entanto, a planta pode ser um indicador confiável do estado hídrico (Larcher, 2004).

1.1. Condutância estomática

O funcionamento dos estômatos constitui um comprometimento fisiológico, quando abertos, permitem a assimilação de gás carbono. Fechando-se, conservam água e reduzem o risco de desidratação (Tenhunen et al., 1987). Segundo Barlow (1983), à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração decresce como resultado do fechamento dos estômatos. Esse é um dos importantes mecanismos de defesa que as plantas apresentam contra as perdas exageradas de água e eventual morte por dessecação. Almeida e Soares (2003) relataram que clones de *Eucalyptus grandis* exercem controle estomático eficiente em condições de baixa disponibilidade de água no solo.

A redistribuição ou a biossíntese de ácido abscísico (ABA) é muito eficaz no fechamento estomático e seu acúmulo nas folhas estressadas exerce um papel importante na redução da perda de água, pela transpiração, sob condição de estresse hídrico. O fechamento estomático pode também ser causado pelo transporte de ABA sintetizado nas raízes e transportado para a parte aérea (Taiz & Zeiger, 2004). Entretanto, Schulze (1987) considera que o ABA sozinho não deve

regular a abertura estomática, uma vez que os níveis desse regulador de crescimento aumentam quando sob deficiência hídrica.

Em condições controladas, há, freqüentemente, boa correlação entre o aumento da resistência estomática e o da concentração de ácido abscísico (ABA) na solução do xilema e no floema, em plantas submetidas ao déficit hídrico (Tardieu e Davies, 1993; Thompson et al., 1997). No entanto, em condições de campo, pode ocorrer variação na abertura estomática para um mesmo nível de ABA na seiva (Schurr et al., 1992).

Segundo Tardieu & Davies (1992; 1993), as respostas estomáticas ao ABA do xilema são diretamente afetadas pelo estado hídrico da folha, alterando a sensibilidade das células-guarda ao ABA. Reduções muito pequenas no potencial hídrico foliar ($< -0,06$ MPa) (Thompson et al., 1997), valor abaixo do normalmente encontrado em planta no seu ambiente de crescimento, são suficientes para potencializar a resposta dos estômatos ao ABA. Também é possível encontrar variação na sensibilidade estomática ao ABA do xilema em potenciais hídricos foliares inalterados. Estudos recentes mostram que outros fatores, como estado nutricional da planta, composição iônica (Schurr et al., 1992) e pH da solução do xilema e no floema (Thompson et al., 1997) influenciam as respostas estomáticas ao ABA.

Segundo Mansfield & Davies (1985), a lenta recuperação da condutância estomática após um período de estresse de água é atribuída à alta concentração de ABA acumulado durante o estresse hídrico. A condutância estomática é recuperada apenas quando a concentração de ABA diminui e o tempo gasto para esta recuperação varia com o grau de estresse a que a planta foi submetida e com a espécie (Bengton et al., 1977).

Outro fator importante no controle estomático é a radiação, principalmente a faixa de luz azul presente no espectro da luz solar. A luz é um sinal ambiental dominante que controla os movimentos estomáticos em folhas de plantas bem hidratadas. O efeito da luz no movimento estomático pode ser indireto, aumentando a fotossíntese (aumentando o conteúdo de solutos) ou no efeito específico da luz azul atuando como sinalizador no seu controle de abertura e fechamento. A luz azul estimula o bombeamento de prótons através da H^+ ATPase pela membrana plasmática, promovendo a absorção de íons nas células guardas, fazendo com que o potencial osmótico da célula se reduza e ocorra então entrada de água nas células

guardas, traduzindo em aumento na abertura estomática (Taiz & Zeiger, 2004).

1.2. Transpiração

Segundo Larcher (2004), mais de 90% da água absorvida pela planta pode ser consumida pela transpiração, ocorrendo em qualquer parte do organismo vegetal acima solo, sendo no caso as folhas as principais responsáveis. A transpiração nas folhas acontece através da perda de água da superfície das células do mesófilo, principalmente, através dos estômatos, cutícula, e em menor extensão, através das lenticelas e da casca.

As perdas de água por transpiração das plantas de eucalipto, como a da maioria de outras espécies vegetais, são determinadas, principalmente, pela demanda evaporativa da atmosfera, que é resultante das relações entre radiação solar, déficit de saturação de vapor, temperatura e velocidade do vento. Mecanismos relacionados com a resposta estomática a fatores ambientais, como estrutura da copa, particularmente, pelo índice de área foliar e disponibilidade de água no solo, também afetam a transpiração (Calder et al., 1992; Lima, 1996).

Em uma manhã ensolarada, quando há água abundante e a radiação solar incidente nas folhas favorece a atividade fotossintética, cresce a demanda por CO_2 e os estômáticos se abrem, diminuindo a resistência estomática à difusão de CO_2 . A perda de água por transpiração é também substancial em tais condições, mas, uma vez que o suprimento hídrico é abundante, é vantajoso para a planta intercambiar a água por produtos da fotossíntese, essenciais ao crescimento e reprodução (Taiz & Zeiger, 2004). Inoue & Ribeiro (1988), estudando clones de *Eucalyptus grandis* e *saligna*, demonstraram que em clones que apresentaram alto potencial fotossintético foram também os que alcançaram as maiores taxas de transpiração.

Por outro lado, quando a água do solo é menos abundante, os estômatos abrirão menos ou até mesmo permanecerão fechados em uma manhã ensolarada, evitando a perda de água por transpiração. Mantendo seus estômatos fechados sob condição de seca, a planta evita a desidratação.

Chaves et al. (2004), estudando o comportamento das trocas gasosas em função de ciclos sucessivos de seca no solo em plantas jovens de clones de eucalipto, verificou que a transpiração foliar seguiu a mesma tendência da condutância estomática, havendo decréscimos de suas taxas em função do aumento dos períodos de seca.

1.3. Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar indica grau de hidratação de uma planta e, assim, podendo representar o estresse hídrico ao que a planta está submetida (Taiz & Zeiger, 2004).

Nota-se, assim, que o potencial hídrico foliar antemanhã, medido antes do nascer do sol, na ausência do fluxo de água, quando a planta não estiver transpirando, após atingir o equilíbrio entre o potencial hídrico da planta e do solo, pode ser uma ferramenta para avaliar o potencial hídrico do solo. De acordo com Larcher (2004), o potencial hídrico antemanhã corresponde aproximadamente ao potencial hídrico do solo.

Muitas plantas podem se aclimatar a um estresse moderado de falta de água através de ajustamento osmótico, que possibilita a manutenção da turgescência celular e, conseqüentemente, o crescimento em potenciais de água foliares mais baixos. A manutenção da turgescência é obtida pela diminuição do potencial osmótico resultante do acúmulo de diferentes solutos no simplasma. O ajustamento osmótico tem sido utilizado como critério de seleção para tolerância ao estresse de falta de água entre espécies de eucalipto (Lemcoff et al., 1994).

Mielke (1997), observando o potencial hídrico antemanhã e o potencial hídrico foliar ao meio dia de plantas adultas de *Eucalyptus grandis*, relatou que os valores acompanharam as variações observadas no teor de umidade do solo. Os valores mínimos observados pelo autor, com base na média de dois níveis do dossel, superior (32 a 30 m de altura) e inferior (29 a 27 m), foram respectivamente, -2,9 e -1,3 MPa no mês de agosto de 1996, período experimental onde foi verificado a maior escassez de chuva e menor teor de umidade no solo. Os valores de potencial hídrico ao meio dia foram sempre mais negativos do que os valores encontrados no antemanhã. Chaves et al. (2004), também observaram queda no potencial hídrico foliar antemanhã, ao final dos ciclos de seca, em clones jovens de eucalipto submetidos à deficiência hídrica, variando de -0,80 a -1,98 MPa. Enquanto que, nas plantas plenamente irrigadas, o potencial hídrico foliar variou de -0,25 a -0,35 MPa.

1.4. Fotossíntese

A deficiência de água tem sido considerada um dos principais fatores do

ambiente a limitar a fotossíntese. À medida que o déficit hídrico é imposto, ocorre redução na condutância estomática, no influxo de CO_2 até os cloroplastos, e, conseqüentemente, queda na taxa fotossintética. Por outro lado, a restrição ao influxo de CO_2 , devido ao fechamento dos estômatos, nem sempre explica as quedas observadas na fotossíntese. Nesse sentido a interação do déficit hídrico com outros fatores do ambiente, como altas intensidades luminosas ou temperaturas elevadas, os quais muitas vezes desencadeiam o fenômeno da fotoinibição, parece ser a principal responsável pela limitação não-estomática da fotossíntese (Cornic, 1994).

Kozlowski & Pallardy (1996) relataram que a taxa fotossintética é muito sensível à disponibilidade de água, decrescendo tanto em solos secos como em solos encharcados. Quando o potencial hídrico foliar é reduzido em solos com baixa disponibilidade de água, a fotossíntese pode ser diminuída na mesma proporção. Segundo estes autores, é difícil estabelecer um potencial hídrico foliar no qual a fotossíntese começa a decrescer, porque esse valor varia com a espécie, genótipo, habitat, histórico da planta e condições ambientais predominantes. O estresse hídrico além de reduzir a fotossíntese, também reduz o consumo de assimilados nas folhas em expansão, como conseqüência, diminui indiretamente a quantidade de fotoassimilados exportados nas folhas, uma vez que o transporte do floema depende do turgor.

Taiz & Zeiger (2004) relataram que, quando os estômatos se fecham nos estádios iniciais de estresse hídrico, a eficiência no uso de água pode aumentar, ou seja, mais CO_2 pode ser absorvido por unidade de água transpirada, porque o fechamento estomático inibe a transpiração mais do que diminui as concentrações intercelulares de CO_2 . Quando o estresse torna-se severo, no entanto, a desidratação de células do mesófilo inibe a fotossíntese, o metabolismo do mesófilo é prejudicado e a eficiência do uso de água decresce.

Quando plantas que passaram por um período de déficit hídrico são irrigadas, a taxa de fotossíntese pode ou não retornar aos níveis anteriores, dependendo do material genético, severidade e duração da seca e umidade do ar. Aquela planta que consegue recuperar-se e voltar a fotossintetizar como anteriormente ao estresse possui, certamente, uma maior tolerância ao déficit hídrico. Os efeitos prejudiciais da seca no processo fotossintético podem durar semanas ou até meses e a capacidade de plantas estressadas recuperar a sua

capacidade fotossintética pode estar associada à capacidade dos estômatos reabrirem parcial ou totalmente e com as injúrias sofridas pelo aparelho fotossintético, como a síntese de proteínas (Kozlowski & Pallardy, 1996).

Calbo & Moraes (2000), estudando a deficiência hídrica em *Eutropea oleracea*, verificaram a recuperação da taxa fotossintética nas plantas não irrigadas após 61 dias de déficit no dia seguinte à irrigação, porém só atingiram valores similares as plantas mantidas irrigadas, aos 14 dias, após a reidratação.

2. Características de crescimento

O crescimento e a produtividade florestal são dependentes da interceptação da radiação solar e da alocação dos compostos de carbono, formados durante o processo fotossintético nos diferentes órgãos da planta (Kozlowski & Pallardy, 1996).

Nas plantas sob condições ambientes controladas, muitas vezes, verifica-se uma correlação altamente significativa entre as taxas de fotossíntese líquida e de crescimento. Nas plantas crescendo em condições naturais, entretanto, a fotossíntese e a partição de assimilados são constantemente afetadas pela maior ou menor disponibilidade de água e de nutrientes. A carência de um ou outro fator desses recursos constitui num fator de estresse ambiental e, conseqüentemente, redução da floresta (Kozlowski & Pallardy, 1996).

Quando o déficit hídrico apresenta evolução suficientemente lenta para permitir mudanças nos processos de desenvolvimento, o estresse hídrico tem vários efeitos sob o crescimento. Segundo Larcher (2004), a deficiência hídrica reduz a turgescência das células e, com a progressiva desidratação do protoplasma, aumenta a concentração do conteúdo celular. Em geral todos os processos vitais são afetados pelo decréscimo do potencial hídrico, comprometendo o crescimento da planta, uma vez que a primeira resposta do déficit hídrico é a diminuição do turgor e, conseqüentemente, redução do crescimento (Taiz & Zeiger, 2004; Larcher, 2004).

De acordo com Gholz (1990), a disponibilidade de água, afeta o crescimento das plantas por controlar a abertura estomática e, conseqüentemente, a produção de biomassa seca. O decréscimo de água no solo diminui o potencial hídrico de água na folha, onde suas células não se encontram mais túrgidas, contribuindo para diminuição da condutância estomática, e promovendo o fechamento parcial ou total dos estômatos. Este fechamento bloqueia o influxo de CO₂ para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, podendo levar à paralisação de crescimento das

plantas e perda de produtividade.

Segundo Taiz & Zeiger (2004), a resposta ao estresse limita o tamanho e o número de folhas, levando à redução no consumo de carbono e energia por esse órgão da planta, ocorrendo grande alocação de fotoassimilados para o sistema radicular. Witschoreck et al. (2003), estudando a biomassa e o comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* com 10 anos de idade, observaram que aproximadamente 57,9% da densidade de raízes finas foi encontrada nos primeiros 20 cm de profundidade do solo, e que a densidade de raízes finas diminuiu à medida que a profundidade do solo aumentava, havendo pouca variação após os 30 cm de profundidade.

As raízes se desenvolvem adequadamente em solos úmidos e suficientemente arejados. A presença da água na região meristemática e de alongação é necessária para manter a turgescência das células e ocorrer a divisão e extensão celular. Entretanto, o desenvolvimento da raiz em diâmetro é mais afetado pelo déficit hídrico do que a alongação (Rendig & Taylor, 1989). Durante o período seco, as raízes finas que se encontram na camada de solo com deficiência hídrica podem morrer parcialmente e haver modificações nas reservas de carboidratos, afetando a produção e sobrevivência da planta (Reis & Reis, 1991).

Observa-se também, redução da expansão foliar, altura e diâmetro das plantas, resultando em menor acúmulo de biomassa vegetal (Gonçalves & Passos, 2000; Silva et al., 2001; Chaves, 2001). As folhas que crescem durante o período de déficit hídrico não são apenas menores, mas podem apresentar baixa condutância estomática, mesmo quando a disponibilidade de água for restabelecida. As reduções na biomassa das folhas e área foliar das plantas podem ser resultantes da queda das folhas, a depender da intensidade do déficit hídrico.

Chaves (2001), estudando o comportamento de cinco clones de eucalipto submetidos a ciclos sucessivos de déficit hídrico no solo, verificou que a produção de matéria seca total dos clones submetidos ao déficit hídrico foi reduzida em relação às plantas irrigadas. As maiores reduções foram verificadas no tratamento severo, onde a irrigação era suspensa até que o solo atingisse o potencial hídrico de -1,50 MPa. A maior e menor redução na matéria seca das folhas observadas foram respectivamente, 68,6% e 31,7%, em função da abscisão foliar e redução da expansão foliar dos clones submetidos ao estresse hídrico. Estas duas últimas contribuíram também, para redução em área foliar dos clones, variando de 30,5% a

63,7%. Além disso, foi observado que o déficit hídrico reduziu o crescimento em altura e diâmetro dos clones estudados. Silva et al. (2001) observaram que os maiores valores de altura e diâmetro do caule de *Eucalyptus citriodora* e *E. grandis* foram encontrados com o teor de água no solo de 26%, em relação aos 23 e 20% de umidade no experimento em estudo.

É bom salientar que podem existir diferenças no comportamento de resistência à seca em procedências e espécies de eucalipto. Percebido nas características fisiológicas e morfológicas das plantas ao longo de seu crescimento e desenvolvimento. Estudos realizados por Gonçalves & Passos (2000) e Chaves (2001), têm comparado materiais genéticos bastante distintos, como espécies diferentes ou procedências diferentes de uma mesma espécie.

3. Modificações morfológicas

As plantas podem desenvolver mecanismos de adaptação à seca quando sob deficiência hídrica, que pode incluir adaptações morfológicas, fisiológicas e até anatômicas (Larcher, 2004). A identificação desses mecanismos pode explicar as causas da resistência à seca de clones de eucalipto a servir como base para programas de melhoramento florestal.

Diversos parâmetros morfológicos das folhas têm sido relacionados com a adaptação das diferentes espécies vegetais à disponibilidade hídrica do ambiente (Larcher, 2004; Taiz & Zeiger, 2004). O incremento no peso da matéria seca com relação à área foliar pode, muitas vezes, está relacionada às mudanças anatômicas internas das folhas, como a redução do tamanho das células, a maior densidade do sistema vascular e a maior quantidade de parênquima paliçádico em relação ao parênquima lacunoso (Nobel, 1991).

Por outro lado, o déficit hídrico também afeta o desenvolvimento do sistema radicular. A razão da biomassa de raízes para a parte aérea parece ser governada por um balanço funcional entre absorção de água pelas raízes e fotossíntese pela parte aérea (Taiz & Zeiger, 2004). Segundo estes autores, a parte aérea continuará crescendo até que a absorção de água pelas raízes torne-se limitante, inversamente, as raízes crescerão até que a demanda por fotossintatos da parte aérea iguale-se ao suprimento. Este balanço funcional é alterado se o suprimento hídrico decrescer.

Com base num experimento realizado com diferentes procedências de *E. camadulensis*, Awe et al. (1976) citado por Mielke (1997), sugeriram que a

adaptação dessa espécie a ambientes com baixa disponibilidade hídrica está diretamente relacionada com a capacidade de produzir um sistema radicular bastante profundo. Li (1998b) considera a relação raiz/parte aérea como sendo característica importante a ser considerada em estudos sobre a adaptação à seca em espécies de eucalipto.

A expansão foliar é muito precocemente afetada, quando a absorção de água é reduzida. No entanto, a atividade fotossintética é muito menos atingida. A inibição da expansão foliar reduz o consumo de carbono e energia, e uma maior proporção de assimilados vegetais pode ser distribuída ao sistema radicular, onde eles podem sustentar o crescimento posterior de raízes (Taiz & Zeiger, 2004), possibilitando absorver água das camadas mais profundas do solo, uma vez que os ápices das raízes perdem turgor em solo seco. Por outro lado, árvores que se desenvolvem em solos rasos podem sofrer com mais severidade uma eventual falta de água no solo (Larcher, 2004).

Se as plantas passarem por um período de estresse hídrico após desenvolvimento substancial da área foliar, as folhas vão senescer e subseqüentemente cairão. A abscisão durante o déficit hídrico resulta em grande parte da síntese acentuada e da sensibilidade ao etileno (Taiz & Zeiger, 2004). Em determinadas plantas o estresse hídrico não limita apenas o tamanho, mas também o número de folhas, pois ele diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos. O crescimento do caule tem sido menos estudado do que a expansão foliar, mas provavelmente ele é afetado pelas mesmas forças que limitam o crescimento das folhas durante o estresse.

4. Variáveis climáticas

Na natureza os fatores ambientais exercem influência sobre os vegetais. Elementos como: radiação solar incidente, umidade relativa do ar, temperatura do ar, velocidade do vento, precipitação e pressão descrevem as condições climáticas de uma região apta ou não ao cultivo de determinada espécie vegetal (Pereira et al., 2002).

Muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de avaliar os efeitos dos fatores físicos do ambiente sobre as trocas gasosas no dossel de plantios florestais de *Eucalyptus*, mais recentemente Mielke et al. (1997); Silberstein et al. (2003); Lane et al. (2004); Leuning et al. (2005). Estes estudos são de grande importância, pois

permitem o conhecimento dos efeitos das variáveis climáticas de determinado local sobre as trocas gasosas, observando, principalmente, o que mais influenciará na assimilação do carbono na planta o que resultará numa melhor produtividade e maior eficiência no uso de água.

Leuning et al. (2005), estudando o fluxo de carbono e água numa floresta de *Eucalyptus* na Austrália, avaliou a importância da produtividade de uma floresta, comparando a assimilação anual de carbono na estação de chuva e na estação seca. Verificou que houve queda de $1060 \text{ g C m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ para $360 \text{ g C m}^{-2}\text{ano}^{-1}$, respectivamente. O baixo fluxo de carbono foi encontrado nos meses de menor precipitação pluviométrica. Por sua vez, a temperatura também contribuiu para decréscimos na assimilação mensal de carbono. Temperatura abaixo de 28°C no inverno provocou queda na assimilação do carbono. Segundo os autores a evapotranspiração das plantas de eucalipto eram menos afetadas pela seca do que a assimilação de carbono, pelo fato das árvores terem acesso à água em maiores profundidades, e devido a evapotranspiração ser mantida pelos altos valores de déficit de pressão de vapor durante a seca.

A demanda evaporativa da atmosfera tem indicado ser um efeito altamente significativo sobre a condutância estomática em plantas lenhosas (Baldochi et al., 1991), embora Mielke (1997), tenha demonstrado fraca correlação entre essa variável microclimática e a fotossíntese, numa floresta de *E. grandis* no Brasil. Essa aparente contradição pode ter ocorrido, devido ao fato de que os valores de déficit de pressão de vapor foram relativamente baixos no período experimental. Dessa forma, os efeitos conjuntos de outras variáveis do ambiente, particularmente radiação solar incidente e concentração de CO_2 na atmosfera, poderiam ter alterado o efeito individual déficit pressão de vapor. No mesmo trabalho, Mielke (1997) encontrou resultados que indicam que o déficit de pressão de vapor e a umidade do solo contribuíram de forma fundamental para variações ocorridas na transpiração do dossel das plantas.

Percebe-se então, que se faz necessário uma melhor caracterização das relações fisiológicas aos efeitos do meio ambiente, descobrindo os elementos críticos ou mesmo os limitantes de uma boa produtividade, para que possa, posteriormente, tomar decisões que levem a uma maior produção, reduções de custo, maior eficiência no uso da água, tudo isso, com informações fornecidas pela própria planta ou mesmo o ambiente.

III. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.2, p.159-170, 2003.

BALDOCHI, D.D.; LUXMOORE, R.J.; HATFIELD, J.L. Discerning the Forest from the trees: an essay on scaling canopy stomatal conductance. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.54, p.197-226, 1991.

BARLOW, E.W.R. Water relations of the mature leaf. In: DALE, J.E.; MILTHORPE, F.L., (Ed.). **The growth and functioning of leaves**. Cambridge: University Press, 1983. p.315-345.

BENGTON, C.; FALK, S.; LARSSON, S. The after effect of water stress on transpiration rate change in abscisic acid content of young what plants. **Physiologia Plantarum**, v. 41, .p.149-154, 1977.

BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico do solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.7, p.1053-1060, 1998.

CALBO, M.E.R.; MORAES, J.A.P.V. Efeitos da deficiência hídrica em plantas de *Euterpe oleracea* (açaí). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.23, n.3, p.225-230, 2000.

CALDER, I.R. Water use of eucalyptus – a review. In: CALDER, I.R., HAAL, R.L.; ADLARD, P.G (Ed.). **Growth and water use of forest plantations**. Chichester: John Wiley & Sons, 1992, p.167-179.p.381.

CHAVES, J.H. **Crescimento, fotossíntese e relações hídricas de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. Viçosa: UFV, 2001. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CHAVES, J.H.; REIS, G.G.; R, M.G.F. *et al.* Early selection of eucalypt clones to be planted in environments with varying soil water availability: water relations of plants in

small size plastic tubes. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p.333-341, 2004.

CORNIC, G. Drought stress and high effects on leaf photosynthesis. In : BAKER, N.R., BOWYER, J.R (Ed.). **Photoinhibition of photosynthesis, from molecular mechanisms to the field**. Oxford: BIOS Cientific Publihers, 1994. p. 297-313.

FAÇANHA, J.G.V. **Aspectos fisiológicos do crescimento de *Eucalyptus* spp. Submetidos a deficiência hídrica**. Viçosa: UFV, 1983. 47f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

FLORENCE, R.G. **Ecology and silviculture of eucalypt forest**. Collingwood: CSIRO, 1996. 413p.

FRAMPTON, L.J.Jr.; FOSTER, G.S. Field testing vegetative propagules. In: AHUJA, M.R.; LIBBY, W.J **Clonal Forestry I. Genetics and Biotechnology**, Berlin, 1993.p.110-134.

GHOLZ, H.L.; EWEL, K.C.; TESKEY, R.O. Water and forest productivity. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, v. 30, p. 1-18, 1990.

GONÇALVES, M.R. **Crescimento, acúmulo de nutrientes e temperatura da copa de cinco espécies de *Eucalyptus* spp. Sob dois regimes hídricos**. Viçosa : UFV. 1992. 84f. Dissertação (Mestrado em fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

GONÇALVES, M.R.; PASSOS, C.A.M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidos a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.2, p. 145-161, 2000.

HINCKLEY, T.M.; BRAATNE, J.N. Stomata. In: WILKINSON, R.E. (Ed.). **Plant environment interactions**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.323-355.

INOUE, M.T.; RIBEIRO, F.A. Fotossíntese e transpiração em *Eucalyptus grandis* e *saligna*. **IPEF**, n.40, p.15-20, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. IBGE teen. Disponível em :<[http:// www.ibge.gov.br/ibgeteen/default.htm](http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/default.htm)>. Acesso em: 03 ago.2004.

KOSLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. **Physiology of woody plants**, 2.ed. San Diego, Academic Press, 1996, 411p.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495p.

LANE, P. N. J.; MORRIS J.; NINGNAN. Z.; GUANGYI, Z.; GUOYI, Z AND DAPING, X. Water balance of tropical eucalypt plantations in south-eastern China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.124, p.253-267, 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531p.

LEMCOFF, J.L.; GUARNASCHELL, A.B.; GARAU, A.M.; BASCIALI, M.E.; GHERSA, C.M. Osmotic adjustment and its use as a selection criterion in *Eucalyptus* seedlings. **Canadian Journal Forest Research**, v.24, p. 2404-2408, 1994.

LEUNING, R.; CLEUGH, H.A.; ZEGELIN, S.J.; HUGHES, D. Carbon and water over a temperature *Eucalyptus* forest and a tropical wet/dry savanna in Australia: measurements and comparison with modis remote sensing estimates. **Agricultural and Forest Meteorology**. Disponível em: <www.publish.csiro.au/?act=view_file&file_id=BT04147.pdf>. Acesso em: 12 feb. 2005.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 301p.

LIMA, W.P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO₂ concentration and drought stress. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.60, n.2, p.231-238, 2003.

LI, C.; BERNINGER, F.; KOSKELA, J.; SONNINEN, E. Drought responses of *Eucalyptus microtheca* provenances depend on seasonality of rainfall in their place of origin. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.27, n.3, p.231-238, 2000.

LI, C. Variations of seedlings traits of *Eucalyptus microtheca* origins in different watering regimes. **Silvae Genetica**, Grosshansdorf, v.47, n.2-3. 1998b.

MANSFIELD, T.A.; DAVIES, W.J. Mechanisms for leaf control of gas exchange. **BioScience**, v.35, p.158-164, 1985.

MIELKE, M.S. **Regulação fisiológica e ambiental das trocas gasosas num plantio clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. Viçosa: UFV, 1997. 92f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego: Academic press, 1991. 635p.

OLIVEIRA, A.J.; BOVI, M.L.A.; MACHADO, E.C.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G., RODRIHUES, J.D. Fotossíntese, condutância e Transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.59-63, 2002.

PEREIRA, J.S.; TENHUNEN, J.D.; LANGE, O.L et al. Seasonal and diurnal patterns in leaf gas Exchange of *Eucalyptus globules* trees growing in Portugal. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.16, p.177-184, 1986.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F. Respostas estomáticas e mudanças nos níveis de reservas de plantas intactas e de brotações de *E. camaldulensis* Dehn submetidas à deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, v.15, n.2 p.112-125, 1991.

RENDIG, V. V. & TAYLOR, H. M. Root growth and distribution. In: - **Principies of soil-plant interrelationships**. NewYork, McGraw-Hill, 1989. p. 37-77.

ROBERTS, J.M.; ROSIER, P.T.W.; SRINIVASA MURTHY, K.V. Physiological studies in young eucalypts stands in Southern India and their use in estimating forest transpiration. In: CALDER, I.R.; HALL, R.L.; ADLARD, P.G (Ed.). **Growth and water use of forest plantations**. Chichester: John Wiley & Sons, 1992. p. 226-243.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA – SBS. Área plantada com pinus e eucaliptos no Brasil (ha) – 2000. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/area_plantada.htm>. Acesso em: 15 ago. 2005.

SCHULZE, E.D.; TURNER, N.C.; GOLLAN & SHACKEL, K.A. Stomatal responses to air humidity and to soil drought. In: ZEIGER.E.; FARQUHAH,G.; COWAN, I (Ed.). **Stomatal function**. Stanford: Stanford University Press, 1987. p. 311-321.

SCHURR, U.; GOLLAN, T.; SCHULTZE, E.D. Stomatal response to drying soil in relation to changes in the xylem sap composition of *Helianthus annuus*. II. Stomatal sensitivity to abscisic acid imported from the xylem sap. **Plant Cell Environment**, v.15, p. 561-567, 1992.

SILBERSTEIN, R. P.; SIVAPALAN, M.; VINEY, N. R.; HELD.A AND HATTON.T.J. Modelling the energy balance of a natural jarrah (*Eucalyptus marginata*) forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.115, p.201-230, 2003.

SILVA, W.; SILVA, A.A.; SEDIYAMA, T.; FREITAS, L.H.P. Altura e diâmetro de *Eucalyptus citriodora* e *E. grandis* submetidos a diferentes teores de água em convivência com *Brachiaria brizantha*. **Revista Floresta**, Curitiba, v.27, n.1/2, p.3-16, 1998.

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A.A.; SOUZA, A.P. Taxa fotossintética líquida de *Eucalyptus citriodora* Hook e *E. grandis* W.Hill em respostas a níveis de água no solo e associação com *Brachiaria brizantha* Staf. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.23, n.5, p.1205-1209, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 2004. 719p.

TARDIEU, F.; DAVIES W.,J. Stomatal response to ABA is a function of current plant water status. **Plant Physiology**, v.98, p. 540-545, 1992.

TARDIEU, F.; DAVIES, W.J. Integration of hidraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. **Plant Cell Environment**, v.16, p. 341-349, 1993.

TENHUNEN, J.D.; PEARCY, R.W.; LARANCE, O.L. Diurnal variation in leaf conductance gas exchange in natural environments. In: ZEIGER, E., FARQUHAR, G & COWAN, I (Ed.). **Stomatal function**. Stanford: Stanford University Press, 1987. p.323-351.

THOMPSON, D,D.; WILKINSON, S.; BACON, M.A.; DAVIES, W.J. Multiple signals

and mechanisms that regulate leaf growth and stomatal behavior during water deficit. **Physiologia Plantarum**, v.100, p. 303-313, 1997.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M.V.; MARCOS VINICIUS WINCKLER CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, v.27, n.2, p.177-183, 2003.

IV.CAPÍTULOS

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO

RESUMO

Tatagiba, Sandro Dan, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, fevereiro de 2006. **Avaliação do crescimento e produção de seis clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação.** Orientador: José Eduardo Macedo Pezzopane. Co-orientadores: Edvaldo Fialho dos Reis e Ricardo Miguel Penchel Filho.

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de estudar e identificar as características de crescimento de seis clones de eucalipto (1, 2, 3, 4, 5 e 6), crescendo em vasos plásticos de diâmetro de 42 cm e altura de 72 cm, com aproximadamente 100 dm³, de modo a subsidiar a seleção precoce desses materiais genéticos para estabelecimento em áreas com disponibilidade diferenciada de água no solo. As plantas dos seis clones foram submetidas a diferentes níveis de manejos hídricos, quando então, foram avaliadas as características de crescimento: diâmetro do coleto; altura das plantas; área foliar; relação raiz/parte aérea; matéria seca de: folhas, haste e ramos, raízes e total. Avaliou-se, também, a capacidade de retomada de crescimento das plantas após serem submetidas à deficiência hídrica nos vasos. O clone 3, seguido do 5 e 6, se mostraram mais sensíveis à deficiência hídrica nos vasos. Os clones 1, 2 e 4 foram os mais tolerantes ao efeito do déficit hídrico, em razão de terem apresentado maior acúmulo de matéria seca total sob este manejo. Entretanto, os clones 1 e 2 apresentaram elevada capacidade de retomada de

crescimento depois de submetido à deficiência hídrica. Sob déficit hídrico o clone 3 apresentou maior redução em área foliar em comparação aos outros clones, enquanto o clone 5 apresentou o menor valor para a relação raiz/parte aérea no manejo déficit hídrico. Os clones 2 e 4 foram os que obtiveram maior altura no nível de manejo hídrico sem déficit, e sob déficit hídrico, enquanto que para o diâmetro, nenhum clone dentro dos respectivos manejos diferiu estatisticamente.

Palavras-chave: eucalipto, clone, déficit hídrico, crescimento.

ABSTRACT

Tatagiba, Sandro Dan, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, february, 2006. **Evaluation of the growth and production of six eucalyptus clones under different irrigation regimes.** Adviser: José Eduardo Macedo Pezzopane. Co-advisers: Edvaldo Fialho dos Reis and Ricardo Miguel Penchel Filho.

The present study was developed with the objective of studying and to identify the characteristics of growth of six eucalyptus clones (1, 2, 3, 4, 5 and 6), growing in plastic vases of diameter of 42 cm and height of 72 cm, with of approximately 100 dm³, in a way to subsidize the selection of those precocious genetic materials for establishment in places with differentiated availability of water in the soil. The plants of the six clones were submitted at different levels of water handlings, when then they were evaluated the following growth characteristics: diameter of the stem; height of the plants; foliate area; relationship root/aerial part; dry matter: of the leaves, stem and branches, roots and total. It was also evaluated the capacity of retaking of growth of the plants after being submitted to the water deficiency in the vases. The clone 3 followed by 5 and 6, showed to be more sensitive to the water deficiency in the vases. The irrigation suspension promoted the reduction of the growth, caused mainly by the abscission to foliate. Contrarily, the clones 1, 2, 4 were the most tolerant to the water deficit effects in reason of having presented a larger accumulation of matter total dry under this handling. However, the clones 1 and 2 presented high capacity of growth retaking after being submitted to the water deficit. Under water deficit, the clone 3 presented a larger reduction in foliate area in comparison with the other clones, while the clone 5 presented the smallest value for the relationship aerial root/ aerial part. The clones 2 and 4 were the ones that obtained larger height in the level of water handling and without deficit and

under water deficit, while for the diameter, no clone inside of the respective handling it differed statistical.

Key-words: eucalyptus, clone, water deficit, growth.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento e a produtividade florestal são dependentes da interceptação da radiação solar e da alocação dos compostos de carbono, formados durante o processo fotossintético nos diferentes órgãos da planta (Kozlowski & Pallardy, 1996). Nas plantas sob condições ambientais controladas, muitas vezes verifica-se uma associação entre as taxas de fotossíntese líquida e de crescimento. Nas plantas crescendo em condições naturais, entretanto, a fotossíntese e a partição de assimilados são constantemente afetadas pela disponibilidade de água, luz e nutrientes. A carência de um ou outro fator desses recursos constitui num fator de estresse ambiental e, conseqüentemente, em redução de produtividade da floresta (Kozlowski & Pallardy, 1996).

Quando o déficit hídrico apresenta evolução suficientemente lenta para permitir mudanças nos processos de desenvolvimento, o estresse hídrico tem vários efeitos sobre o crescimento. Segundo Larcher (2004), a deficiência hídrica reduz a turgescência das células e, com a progressiva desidratação do protoplasma, aumenta a concentração do conteúdo celular. Em geral, todos os processos vitais são afetados pelo decréscimo do potencial hídrico, comprometendo o crescimento da planta, uma vez que a primeira resposta ao déficit hídrico é a diminuição do turgor e, conseqüentemente, redução do crescimento (Taiz & Zeiger, 2004; Larcher, 2004).

De acordo com Gholz (1990), a disponibilidade de água afeta o crescimento das plantas por controlar a abertura estomática e, conseqüentemente, a produção de biomassa seca. O decréscimo de água no solo diminui o potencial hídrico de água na folha, onde suas células não se encontram mais túrgidas, contribuindo para diminuição da condutância estomática, e promovendo o fechamento parcial ou total

dos estômatos. Esse fechamento bloqueia o influxo de CO₂ para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, podendo levar a paralisação de crescimento das plantas e perda de produtividade.

Segundo Taiz & Zeiger (2004), a resposta ao estresse limita o tamanho e o número de folhas, levando a redução no consumo de carbono e energia por esse órgão da planta, ocorrendo grande alocação de fotoassimilados para o sistema radicular. Observa-se, também, redução da expansão foliar, altura e diâmetro das plantas, resultando em perda da biomassa vegetal (Gonçalves & Passos, 2000; Silva et al., 2001; Chaves, 2001). As folhas que crescem durante o período de déficit hídrico não são apenas menores, mas podem apresentar condutância estomática baixa, mesmo quando a disponibilidade de água for restabelecida. As reduções na biomassa das folhas e área foliar das plantas podem ser resultado da queda das folhas, a depender da intensidade do déficit hídrico.

É oportuno salientar que podem existir diferenças na resistência à seca entre materiais de eucalipto. Como exemplo, Façanha (1983) e Chaves (2001), têm comparado materiais genéticos bastante distintos, como espécies diferentes ou procedências diferentes de uma mesma espécie.

Este trabalho teve como objetivo estudar as características de crescimento e produção de seis clones de eucalipto submetidos a diferentes manejos hídricos no substrato, em condições controladas, de modo a viabilizar a seleção precoce desses clones para plantio em ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material experimental e delineamento estatístico

Foram utilizadas mudas de seis clones comerciais de eucalipto produzidas pela Aracruz Celulose S/A, na unidade Barra do Riacho, localizada no município de Aracruz, no Estado do Espírito Santo. As mudas foram produzidas em tubetes plásticos de aproximadamente 54 ml pelo método estaquia.

O experimento foi realizado na área experimental do Núcleo de Estudos e Difusão de Tecnologia em Florestas, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável (NEDTEC), do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro, situado na latitude 20°47'25"S e longitude 41°23'48"W, a altitude de 120m, no período de fevereiro a outubro de 2005.

Aos 90 dias de idade, após a produção das mudas, estas passaram por uma seleção quanto à uniformidade e foram transplantadas para vasos de diâmetro de 42 cm e altura de 72 cm, com capacidade de aproximadamente 100 dm³. Estes vasos apresentavam furos circulares de 5 cm de diâmetro em suas faces laterais, a fim de permitir melhor aeração das raízes e escoar o excesso de água. O substrato utilizado foi constituído com de solo extraído de camadas na profundidade de aproximadamente 40 a 80 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo (55%), areia lavada (30%) e composto de casca bioestabilizada de eucalipto (15%). Foi realizada análise granulométrica do substrato, obtendo-se a classificação textural como franco arenoso (Tabela 1).

No plantio não foi necessário fazer adubação e correção da acidez do solo, verificada através análise química. Durante o período experimental foram realizadas



Figura 1 - Detalhe do vaso de 100 dm³ e de sua vedação.



Figura 2 - Aspecto geral do experimento, em Jerônimo Monteiro, ES (latitude 20°47'25"S e longitude 41°23'48"W, a altitude de 120m), no período de 02 fevereiro a 12 outubro de 2005.

Tabela 1 - Análise granulométrica das proporções existentes de cada fração no substrato

Areia grossa (0,201mm)	Areia fina (0,053mm)	Areia Total	Argila (<0,002mm)	Silte
(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
598,705	87,205	685,91	193,1	120,99

quatro adubações de cobertura conforme Arquivo do Agrônomo da Potafos (Silveira et al., 2001), sendo a primeira realizada a partir dos 45 dias após o transplante. As demais adubações seguiram o mesmo período de tempo após a última realizada. Estas adubações foram realizadas de modo a fornecer 1,20 mg de nitrogênio e 1,25 mg de potássio para cada vaso na primeira coberta, e 1,80 mg de nitrogênio e 2,0 mg de potássio para cada vaso nas demais coberturas, aplicados na forma de uréia e cloreto de potássio. Os adubos foram diluídos em frasco contendo 100 ml de água e aplicados em cada um dos vasos.

As mudas cresceram nos vasos com teor de água próximo a capacidade de campo, por um período de 150 dias, quando, então, foram iniciados os manejos hídricos diferenciados até o final do experimento que durou cerca de 250 dias. Nesta época, todos os vasos foram vedados com lona preta plástica e fita adesiva, a fim de evitar a entrada de água por precipitação, e possibilitar a indução dos déficits hídricos a serem aplicados. Os manejos hídricos aplicados foram (Figura 3):

- Sem déficit: manutenção dos vasos próximo à capacidade de campo ao longo de todo o período experimental, ou seja, 250 dias.
- Déficit 1: suspensão da irrigação aos 150 dias de experimentação, durante 45 dias e posterior retomada da irrigação por mais 55 dias.
- Déficit 2: suspensão da irrigação aos 150 dias de experimentação, prolongando até o final do experimento (100 dias de déficit hídrico).

O experimento foi montado num esquema fatorial 3x6, sendo o fator manejo hídrico em três níveis (Sem déficit, Déficit 1 e Déficit 2) e o fator clone em seis níveis (1; 2; 3; 4; 5; 6), num Delineamento Inteiramente Casualizado, com três repetições.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey e de Scott Knott a 5% de probabilidade, utilizando software SAEG.

da média geral de cada clone, enquanto que, para o diâmetro no nível do coleto e altura manteve-se três plantas por clone.

A área foliar foi determinada através do medidor, modelo LI -3100 da marca LI-COR. O diâmetro do coleto foi determinado com auxílio de paquímetro digital (Starrett) modelo 727 a 5 cm do substrato, e a altura das plantas, através de régua milimetrada. Para obtenção da biomassa seca, as plantas foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar na temperatura de 75° C, até atingir peso constante.

Durante a montagem do experimento, foi colocado um número suficiente de vasos extras, para as avaliações das características de crescimento, a fim de permitir a retirada de plantas com desenvolvimento mais uniforme possível. Dessa maneira, excluíram-se as plantas com desenvolvimento limitado e as prejudicadas por algum fator externo e físico do ambiente, além das afetadas por injúrias provocadas por fitopatógenos e insetos ao longo do período experimental.

2.3 Água disponível e lâmina de irrigação

Foi montado um sistema de irrigação localizada por gotejamento, utilizando dois gotejadores autocompensantes por vaso da marca Rain Bird, com vazão de aproximadamente 4,5 litros/hora para cada gotejador. No início do experimento os vasos foram submetidos à saturação por água durante 3 dias consecutivos, durante 6 horas por dia, e logo depois à drenagem livre, por um período de 24 horas, até o total cessamento e estabilização da umidade volumétrica na capacidade de campo, quando foi feito o transplatio das mudas.

A curva de retenção de água do substrato, por secamento, foi determinada conforme EMBRAPA (1997), a partir de amostras deformadas, previamente peneiradas, que depois de saturadas por no mínimo 12 horas, foram levadas à câmara de pressão de Richards com placa porosa para estabilização, adotando-se um tempo não inferior a três dias e posterior determinação da umidade gravimétrica (U), correspondente às tensões de: 0,006; 0,010; 0,033; 0,08; 0,10; 0,30; 0,8 e 1,5 MPa, com três repetições. A umidade volumétrica (θ) para cada uma das tensões foi obtida pelo produto da umidade gravimétrica pela densidade do solo ($\theta = U \cdot D_s$). Os valores médios de umidade volumétrica na curva de retenção do substrato foram ajustados utilizando-se o modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980).

A água disponível (AD) encontrada foi de 17,3%, calculada observando-se os valores de umidade volumétrica na curva de retenção do substrato para a capacidade de campo (CC) em 30,2% determinada na tensão de 0,006 MPa e para o ponto de murcha permanente (PMP) em 12,9% na tensão de 1,5 MPa, utilizando-se a seguinte expressão: $AD = CC - PMP$ (Centurion & Andreoli, 2000).

Para elevar o teor de umidade à capacidade de campo, foi empregada a equação:

$$L = [(CC - U_a)/10] \times D_s \times Z \text{ (Sousa et al., 2003)}$$

em que:

L- Lâmina de irrigação, em mm; CC- umidade na capacidade de campo, % em peso; U_a - umidade atual do solo, % em peso, estabelecida em 25,7% para reinício das irrigações; D_s - densidade do solo, em g.cm^{-3} e Z- profundidade do sistema radicular, em cm. Para transformar a lâmina de irrigação (L) em volume (L/vaso), multiplicou-se L pela área do vaso ($0,139 \text{ m}^2$).

A irrigação total necessária (ITN) dada em mm foi calculada pela equação:

$$ITN = L/E_a, \text{ (Bernardo et al., 2005)}$$

em que:

L- lâmina de irrigação, em mm e E_a - eficiência de aplicação da irrigação, a qual foi utilizada 90%.

O tempo (T) de irrigação foi determinado pela seguinte equação:

$$T = ITN / n \times q \text{ (Bernardo et al., 2005)}$$

em que:

ITN- irrigação total necessária, em mm; n- número de gotejadores e q- vazão dos gotejadores, litros/hora.

As lâminas de irrigação a serem aplicadas foram divididas no tempo, de acordo com crescimento da planta e pelo acompanhamento do desenvolvimento do sistema radicular em profundidade. Foram utilizadas três profundidades do sistema radicular, 30, 55 e 72 cm, para o cálculo da lâmina de irrigação. A primeira e a segunda lâmina foram aplicadas durante um período de 80 dias, respectivamente, enquanto a terceira, foi aplicada por 90 dias, ou seja, prevaleceu até o final do experimento.

A determinação da densidade do solo foi adquirida pelo Método da proveta, de acordo com o Manual de Métodos de Análise do Solo (EMBRAPA, 1997), encontrando o valor de $1,18 \text{ g.cm}^{-3}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do microclima e do teor de água no solo durante o período experimental

A Figura 4 apresenta os valores mensais da precipitação pluviométrica, radiação solar incidente, temperatura do ar, e umidade relativa média, máxima e mínima, medidos na estação meteorológica automática, de 02 fevereiro a 12 outubro de 2005. Durante o período experimental, a precipitação total foi de 1.103 mm, sendo a maior parte concentrada entre os meses de fevereiro e março (245 mm e 412,75 mm, respectivamente). O período experimental de maior escassez de chuvas ocorreu nos meses de julho, agosto e outubro. Os maiores valores da radiação solar incidente, com base em médias mensais, foram verificadas nos meses de abril e outubro com média de 26,49 e 26,37 MJ/m².dia⁻¹, respectivamente, e os menores em maio e junho com 20,16 e 17,82 MJ/m².dia⁻¹, respectivamente.

As maiores temperaturas foram registradas nos meses de fevereiro, março, abril e início de outubro, enquanto que as menores foram verificadas em julho e agosto. Em relação à umidade relativa, observou-se que os meses mais secos foram agosto e início do mês outubro, com umidade média em torno de 66 e 62%, respectivamente, e março e maio foram os meses mais úmidos, apresentando umidade média em torno de 75%.

Durante todo o período experimental foi monitorada a umidade volumétrica do substrato, a fim de determinar a condição hídrica prevalente (Figura 5). Observa-se que a irrigação próxima à capacidade de campo foi interrompida no dia 30 de junho, a fim de submeter os manejos hídricos de déficit às plantas, com retomada da irrigação no dia 15 de agosto para o déficit 1, enquanto que no manejo

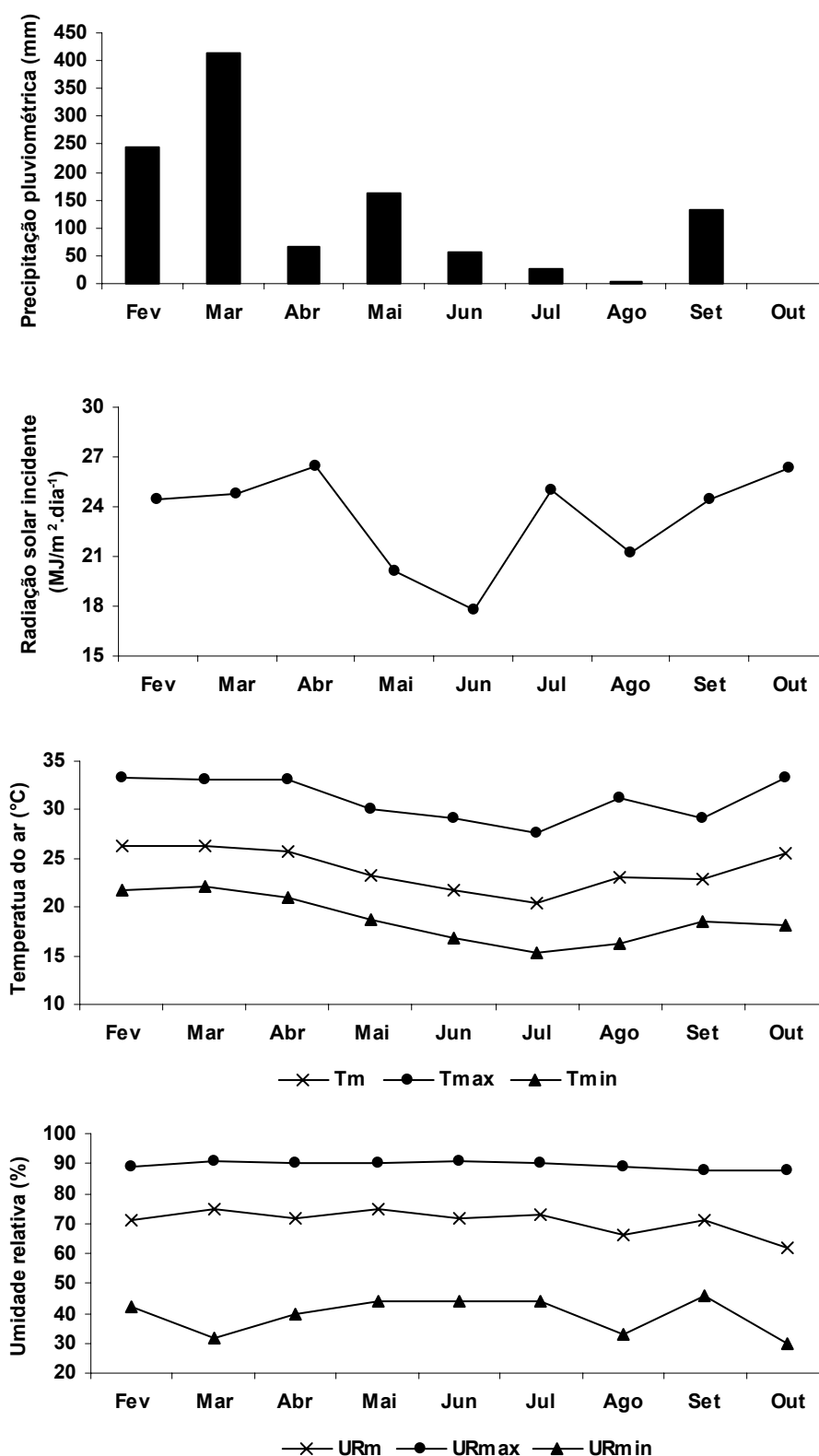


Figura 4 - Valores mensais da precipitação pluviométrica, radiação solar incidente, temperatura média (T_m), máxima(T_{\max}) mínima(T_{\min}) e umidade relativa média (UR_m), máxima(UR_{\max}) mínima(UR_{\min}) , medidas na estação meteorológica automática durante o período experimental, entre 02 de fevereiro a 12 de outubro de 2005.

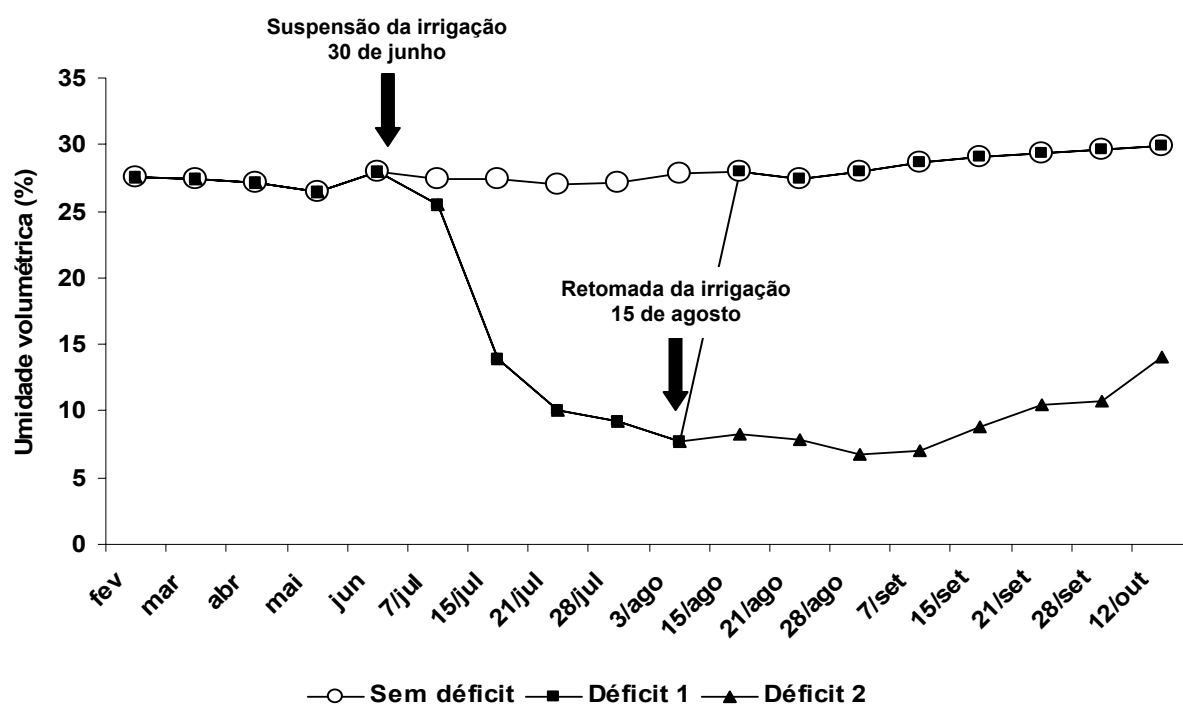


Figura 5 - Variação da umidade do substrato nos respectivos manejos hídricos adotados nos vasos, medido a 30 cm de profundidade, durante o período experimental, entre 02 de fevereiro e 12 de outubro de 2005.

de déficit 2 a irrigação continuou suspensa até o final do experimento.

A umidade volumétrica na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente encontrada foi de 30,2 e 12,9%, respectivamente. Nota-se que a umidade volumétrica do substrato no manejo hídrico sem déficit, ficou bem próxima à capacidade de campo durante todo o período experimental, com média de 27,9%. Enquanto que, sob déficit, a umidade atingiu valores abaixo do ponto de murcha permanente, com média de 9,1% durante todo o período experimental, logo após a estabilização da umidade na semana do dia 21 de julho. A sobrevivência das plantas dos clones de eucalipto abaixo do ponto de murcha permanente pode ser explicada pela eficiência no seu ajuste osmótico. O ajuste osmótico das células desenvolve lentamente em respostas à desidratação do tecido ao déficit hídrico. As folhas que são capazes de realizar esse ajuste podem manter o turgor sob potenciais hídricos mais baixos. A manutenção do turgor possibilita a continuação do alongamento celular e facilita a condutância estomática mais alta, sugerindo que o ajuste osmótico é uma aclimação que aumenta a tolerância à desidratação da planta, mas não tem efeito sobre a produtividade (Taiz & Zeiger, 2004).

3.2 Caracterização do crescimento e produção na fase inicial do experimento

Nas tabelas 2 e 3, encontram-se as características de crescimento avaliadas no início do experimento e antes da aplicação dos manejos de irrigação aos clones. Um mês antes da aplicação dos manejos hídricos de irrigação já foi possível perceber diferença do crescimento entre os clones estudados. O clone 4 apresentou a maior acúmulo de matéria seca total, devido a maior produção de folhas, haste e ramos, e raízes (Tabela 3). Da mesma forma, a área foliar neste clone foi maior. Por outro lado, o clone 3 foi o que apresentou os menores valores de matéria seca total e da relação raiz/parte aérea, enquanto o clone 6 apresentou os menores valores em altura e diâmetro (Tabela 3).

As folhas no início do experimento e antes da aplicação dos manejos hídricos de irrigação foi órgão que mais contribuiu para o acúmulo da matéria seca total em todos os clones avaliados (Figuras 6 e 7). Resultados semelhantes foram encontrados por Chaves (2001), estudando o efeito do déficit hídrico em cinco clones de eucalipto, apresentando maiores valores no acúmulo de matéria seca nas folhas, em mudas de clones de eucalipto aos quatro meses de idade, antes da aplicação dos manejos de irrigação, crescendo em tubetes plásticos de 60 ml, produzidas pelo método de estaquia. À medida que o experimento prolongava, mais fotoassimilados eram translocados para o crescimento da haste e ramos, em detrimento das folhas.

Tabela 2 - Matéria seca das folhas, haste e ramos, raiz, e total, área foliar, altura, diâmetro do coleto e relação raiz/parte aérea de plantas de seis clones de eucalipto, no início do período experimental (Transplântio).

Clone	Matéria seca (g)				Área foliar (cm ²)	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Relação raiz/parte aérea
	Folha	Haste e Ramos	Raiz	Total				
1	0,74	0,45	0,45	1,64	120,9	33,8	3,0	0,38
2	0,88	0,43	0,40	1,71	116,3	34,5	3,2	0,30
3	0,86	0,53	0,49	1,88	156,7	35,3	4,0	0,35
4	0,89	0,39	0,44	1,72	146,3	36,5	3,6	0,34
5	0,98	0,51	0,50	1,99	150,0	35,1	3,7	0,33
6	0,98	0,49	0,56	2,03	150,3	36,3	3,0	0,38

Tabela 3 - Matéria seca das folhas, haste e ramos, raiz, e total, área foliar, altura, diâmetro do coleto e relação raiz/parte aérea de plantas de seis clones de eucalipto, antes da aplicação dos tratamentos de irrigação aos 120 dias de experimentação.

Clone	Matéria seca (g)				Área foliar (cm ²)	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Relação raiz/parte aérea
	Folha	Haste e Ramos	Raiz	Total				
1	80,7	73,49	55,44	209,63	9524,3	103,5	20,5	0,36
2	72,37	61,7	45,19	179,26	7143,2	103,8	19,6	0,34
3	63,96	48,38	29,31	141,65	8048,2	99,1	14,9	0,26
4	98,84	80,4	64,69	243,93	11649,5	117,8	17,8	0,36
5	76,72	62,63	45,41	184,76	8934,7	104,1	17,9	0,32
6	71,70	54,61	37,78	164,09	7914,4	92,6	14,2	0,30

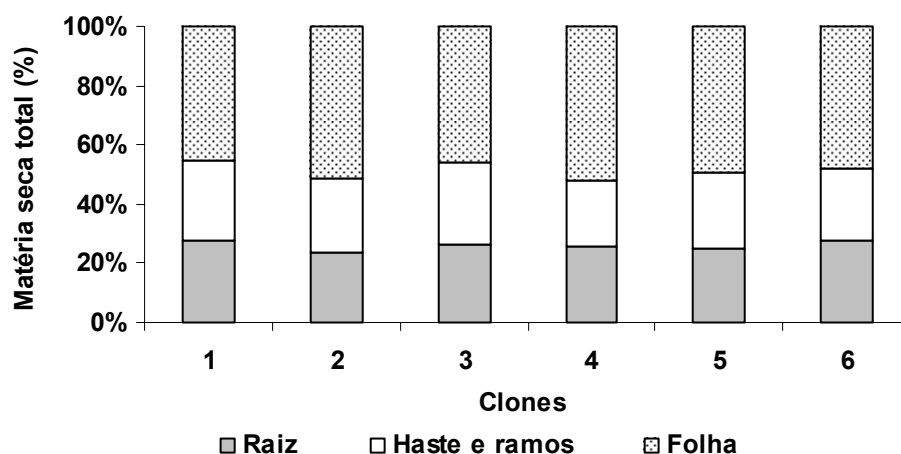


Figura 6 - Matéria seca total (%) de raiz, haste e ramos, e folhas de plantas de seis clones de eucalipto, no início do período experimental (Transplântio).

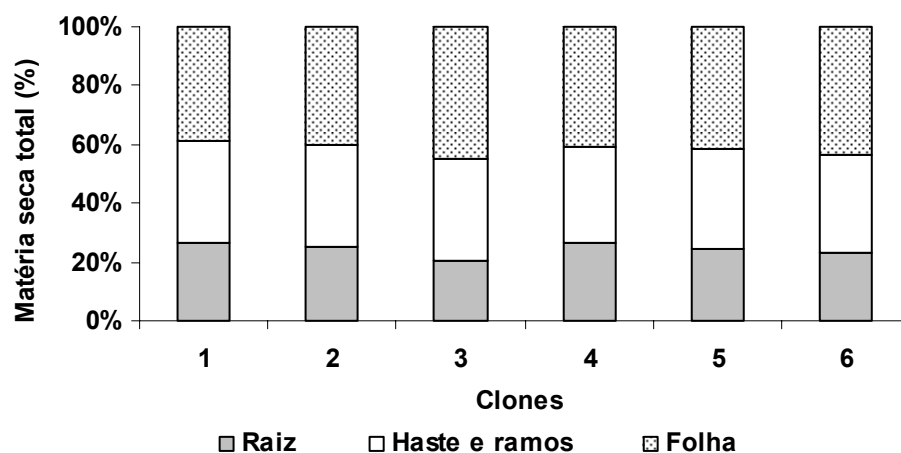


Figura 7 - Matéria seca total (%) de raiz, haste e ramos, e folhas de plantas de seis clones de eucalipto, antes da aplicação dos tratamentos de irrigação aos 120 dias de experimentação.

3.2.1 Avaliação do crescimento e produção dos clones de eucalipto em cada manejo hídrico

Na Figura 6, observa-se o acúmulo de matéria seca total final (peso seco das folhas, hastes e ramos e raízes) dos seis clones de eucaliptos nos três manejos hídricos. De acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, verifica-se que foram formados três grupos nos manejos sem déficit e déficit 2 e apenas dois grupos no manejo déficit 1. Os clones 1, 2 e 4 formaram o grupo mais produtivo em relação ao acúmulo de matéria seca total nos manejos hídricos sem déficit e déficit 2, enquanto sob estes mesmos manejos, o grupo formado pelos clones 5 e 6 apresentou acúmulo de matéria seca total intermediária, e o grupo formado pelo clone 3 apresentou menor acúmulo.

Os clones 1 e 2 formaram o grupo que apresentou maior capacidade na recuperação de crescimento, após a retomada da irrigação por 55 dias no manejo déficit 1. Enquanto sob o mesmo manejo, o grupo formado pelos clones 3, 4, 5 e 6 apresentou menor capacidade de restabelecimento do crescimento, refletindo em um menor acúmulo de matéria seca total. Estudos realizados por Reis et al. (1991) não encontraram diferenças na capacidade de retomada de crescimento em mudas de *E. grandis* e *E. camaldulensis*, submetidas a déficit hídrico em tubetes, e transplantadas para recipientes de maior volume.

O acúmulo de matéria seca total, ao final do experimento, possibilitou diferenciar a produtividade entre os clones estudados. No manejo hídrico sem déficit a média de acúmulo de matéria seca do grupo mais produtivo formado pelos clones 1, 2 e 4 foi cerca de 9% maior em relação ao grupo formado pelos clones 5 e 6, e 39% maior em relação ao grupo formado pelo clone 3.

No manejo hídrico de déficit 1 o grupo formado pelos clones 1 e 2 apresentou acúmulo de matéria seca total cerca de 22% maior em relação ao grupo formado pelos clones 3, 4, 5 e 6. No tratamento com déficit 2 foram observadas as maiores diferenças entre os grupos formados. O grupo de clones mais produtivo (1, 2 e 4), apresentou acúmulo de matéria seca total de 25 e 56% maior em relação aos grupos formados pelos clones 5 e 6; e 3, respectivamente.

Os resultados referentes ao acúmulo de matéria seca total observada no presente estudo indicam tratar-se de uma característica para comparar diferentes materiais genéticos submetidos ao déficit hídrico. Estudos realizados por Façanha (1983) e Chaves (2001), comparando materiais genéticos bastante distintos, têm

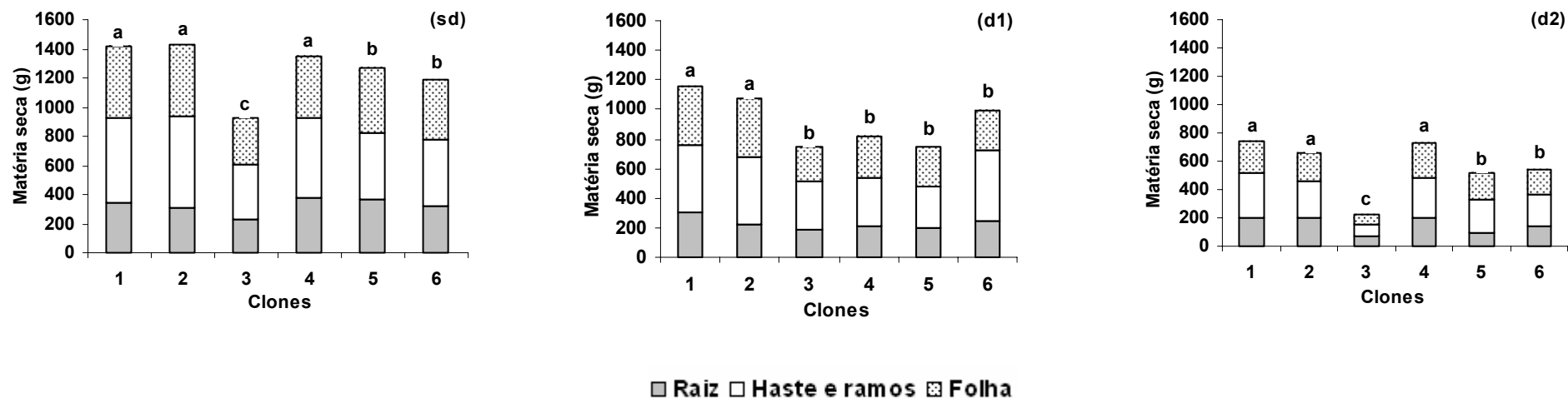


Figura 8 - Matéria seca total (folhas, haste e ramos, e raízes) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit -(d1) déficit 1, -(d2) déficit 2, no final do experimento.

indicado existir grandes diferenças no comportamento à seca em procedências e espécies de eucalipto, percebido nas características morfológicas de crescimento.

A haste e ramos foi o componente que mais contribuiu para o alto acúmulo de matéria seca total dos clones nos manejos hídricos no final do experimento, representando 41,1% da matéria seca total para o clone 1 e 44,4% para o clone 2 no manejo hídrico sem déficit. O crescimento do caule tem sido menos estudado do que os demais órgãos das plantas, mas provavelmente, ele é afetado pelas mesmas forças que limitam o crescimento das folhas durante o estresse hídrico (Taiz & Zeiger, 2004). A maior redução na matéria seca das folhas, encontrada entre os manejos sem déficit e déficit 2, foi observada para o clone 3, com 78% e a menor para o clone 4, com 39%, devido, principalmente, a abscisão foliar acarretada pelo déficit hídrico. Em relação ao acúmulo de matéria seca das raízes as maiores reduções ocorreram para os clones 5 e 3 com 74,3 e 67,39 % e a menor para o clone 2 com 34,5%.

Chaves (2001), estudando o comportamento de cinco clones de eucaliptos, submetidos a ciclos sucessivos de déficit hídrico no solo, verificou que o acúmulo de matéria seca total dos clones sob deficiência hídrica, foi reduzido em relação às plantas irrigadas. O autor verificou que as maiores reduções foram encontradas no tratamento severo, onde a irrigação era suspensa até que o solo atingisse o potencial hídrico de -1,50 MPa. A maior e a menor redução no acúmulo da matéria seca das folhas observadas foram 68,6% e 31,7%, respectivamente, em função da abscisão e redução da expansão foliar dos clones submetidos ao estresse hídrico. Neste trabalho, o órgão da planta que mais contribuiu para a produção da matéria seca total dos clones de eucalipto sob deficiência hídrica foi a raiz. O que contradiz os resultados encontrados aqui. Esta diferença pode ter ocorrido em razão da menor duração do seu experimento.

De acordo com Gholz (1990), a disponibilidade de água afeta o crescimento das plantas por controlar a abertura estomática e, conseqüentemente, a produção de biomassa seca. O decréscimo de água no solo diminui o potencial hídrico nas folhas, onde suas células não se encontram mais túrgidas, contribuindo para diminuição da condutância estomática, e promovendo o fechamento parcial ou total dos estômatos (Kozlowski & Pallardy, 1996). Esse fechamento bloqueia o influxo de CO₂ para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, podendo levar a paralisação de crescimento das plantas e perda de produtividade.

Na Figura 9, encontramos a relação raiz/parte aérea para os seis clones de eucalipto em cada manejo hídrico. No manejo hídrico sem déficit, formaram-se dois grupos. O grupo formado pelos clones 4, 5 e 6, apresentou os maiores valores da relação raiz/parte aérea, enquanto o grupo formado pelos clones 1, 2 e 3 apresentou os menores valores. Para o manejo déficit 1, nenhum clone diferiu estatisticamente, sendo todos pertencentes ao mesmo grupo. Sob manejo déficit 2, formaram-se três grupos. Os clones 2 e 3 formaram o grupo com os mais altos valores da relação raiz/parte aérea. É importante observar que apesar de ter apresentado maiores valores na relação raiz/parte aérea sob o manejo déficit 2, o clone 3 teve seu crescimento na matéria seca total reduzido, principalmente, em relação a matéria seca de raiz, quando comparada aos outros clones, não sendo recomendado para plantios em área com limitada disponibilidade de água no solo.

O grupo formado pelos clones 1, 4 e 6 apresentou valores intermediários, e o clone 5 formou o grupo que apresentou o menor valor para esta característica, indicando ser o clone com estratégia ineficiente para o estabelecimento em solos sob deficiência hídrica. O crescimento do sistema radicular em profundidade é um mecanismo de defesa da planta contra a seca, e está relacionado com sua capacidade de sobrevivência. A exploração de grande volume de solo a maiores profundidades pode evitar que as plantas experimentem déficit hídrico capaz de prejudicar o crescimento em condições de campo (Sasse & Sands, 1996).

Li (1998b) considera a relação raiz/parte aérea como sendo característica importante a ser considerada em estudos sobre a adaptação à seca em espécies de eucalipto. A relação raiz/parte aérea parece ser governada pelo balanço funcional entre a absorção de água pelas raízes e a fotossíntese pela parte aérea. Segundo Taiz & Zeiger (2004), a parte aérea continuará crescendo até que a absorção de água pelas raízes torne-se limitante, inversamente, as raízes crescerão até que sua demanda por fotoassimilados da parte aérea iguale-se ao suprimento.

Percebe-se, na figura 10, para área foliar, que sob o manejo hídrico sem déficit foram formados dois grupos de clones. Os clones 1, 2 e 5 não diferiram estatisticamente entre si para a área foliar, pertencendo todos ao mesmo grupo. O outro grupo foi formado pelos clones 3, 4 e 6, apresentando os menores valores em área foliar, mesmo em condições de ótima umidade no substrato. No manejo déficit 1, o grupo formado pelos clones 1 e 2 superou a área foliar encontrada no grupo formado pelos clones 3, 4, 5 e 6, indicando que com a retomada da irrigação, após

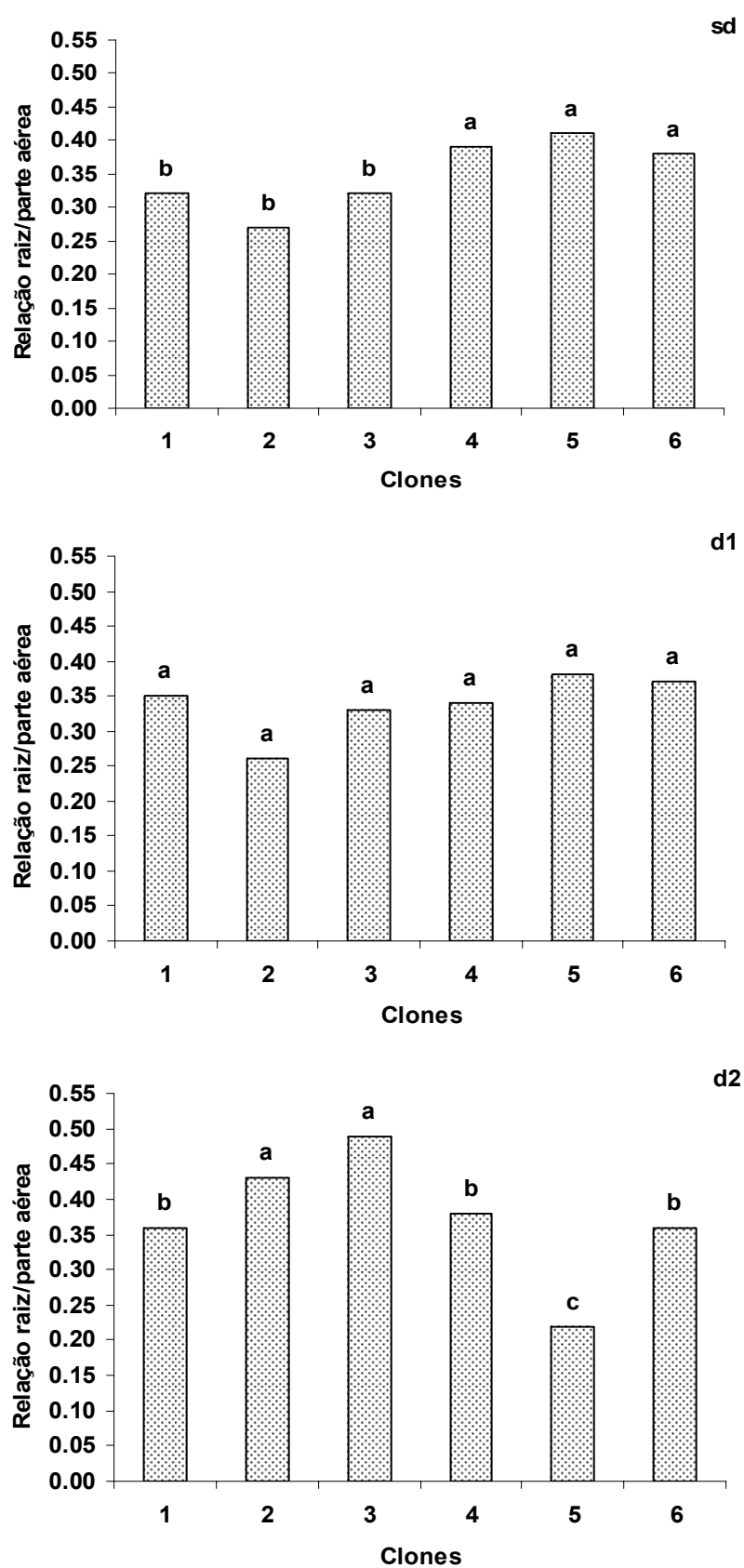


Figura 9 - Relação raiz/parte aérea de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, (d1)-déficit 1, (d2)-déficit 2, no final do experimento.

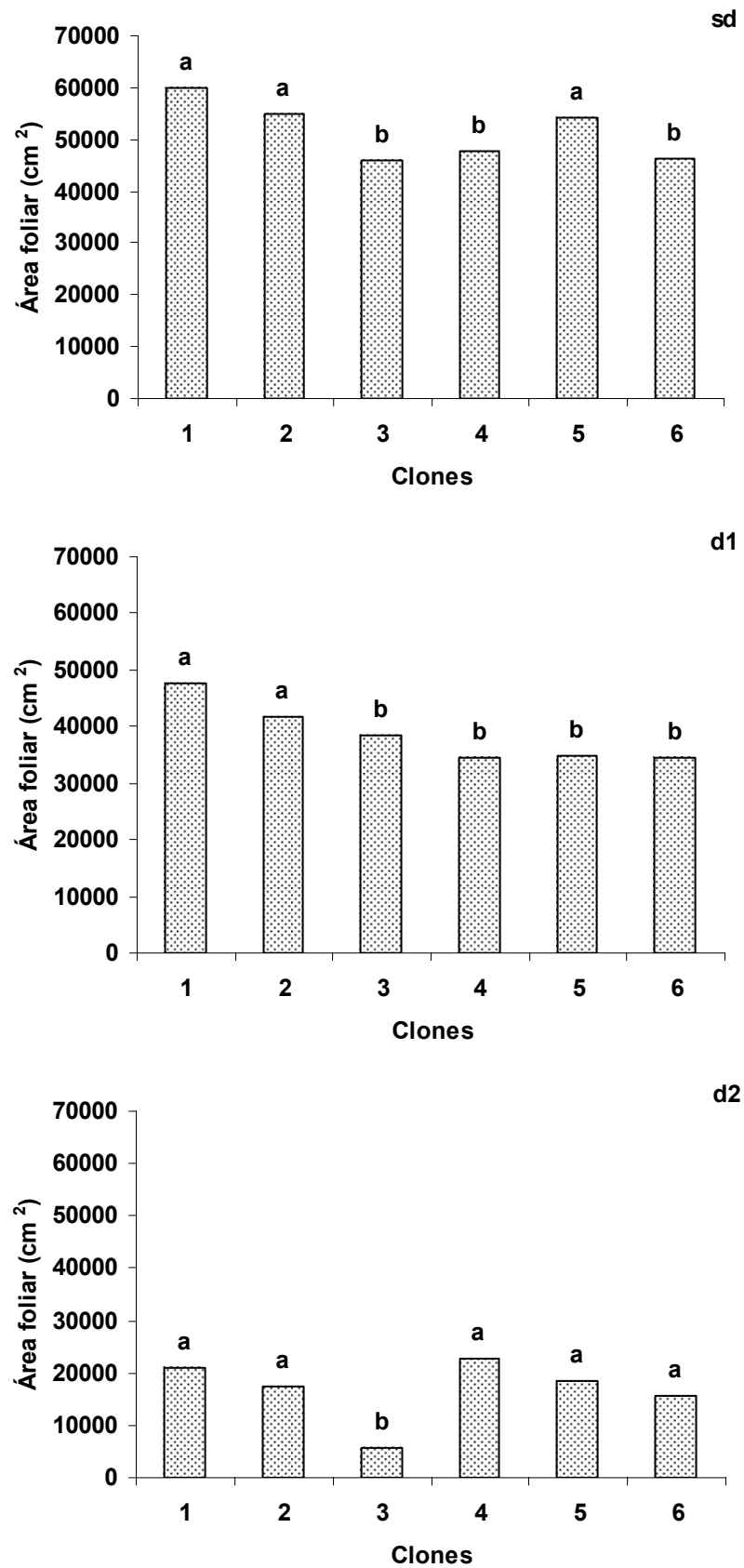


Figura 10 - Área foliar de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, (d1)-déficit 1, (d2)-déficit 2, no final do experimento.

o período de déficit hídrico aplicado, ser o grupo de clones que melhor recuperou o crescimento desta característica.

Sob o nível de manejo déficit 2, apenas o clone 3 formou o grupo que refletiu na maior redução da área foliar, apresentada pela intensa quedas de folhas. Neste manejo, destaque para o grupo formado pelos clones 1, 2, 4, 5 e 6 alcançando os maiores valores de área foliar. Em diversos trabalhos, têm sido observadas reduções na área foliar de mudas em várias espécies do gênero *Eucalyptus*, submetidas ao déficit hídrico, sob diferentes condições ambientais (Façanha, 1983; Li et al., 2000; Chaves, 2001). A diminuição em área foliar de plantas mantidas sob estresse hídrico é uma resposta precoce adaptativa ao déficit hídrico (Taiz & Zeiger, 2004).

Em relação à altura, nos manejos hídricos sem déficit e déficit 2, foram formados dois grupos de clones. O grupo formado pelos clones 2 e 4 manteve maior crescimento, enquanto que o grupo formado pelos clones 1, 3, 5 e 6 apresentou os menores valores nestes mesmos manejos (Figura 11).

No manejo de retomada da irrigação (déficit 1), os clones não apresentaram diferença significativa entre si, sendo todos pertencentes ao mesmo grupo (Figura 11). Para o diâmetro, nenhum clone dentro dos respectivos manejos diferiu estatisticamente entre si, formando um único grupo em cada um dos três manejos hídricos adotados (Figura 12).

Chaves (2001) não encontrou redução de diâmetro e altura causada pelo déficit hídrico em clones de eucalipto, sendo considerada não eficiente na identificação do material genético para reflorestamento em áreas com diferenças na disponibilidade hídrica. Possivelmente, esse efeito não foi detectado em razão da curta duração do experimento. Por outro lado, resultados encontrados por Osório et al. (1998), mostraram diferenças entre a altura de três clones de *E. globulus*, submetidas ao déficit hídrico. Entretanto, o período de experimentação foi maior do que o adotado por Chaves (2001), aliado ao fato desta espécie ser bastante sensível à deficiência hídrica.

Reis et al.(1988b) submeteram mudas de *E. grandis* e *E. camaldulensis* a ciclos de seca em tubetes, até o aparecimento de sintomas drásticos de murcha foliar, e observaram redução no crescimento em altura e diâmetro para as duas espécies, sendo que a redução em *E. grandis* foi imediata.

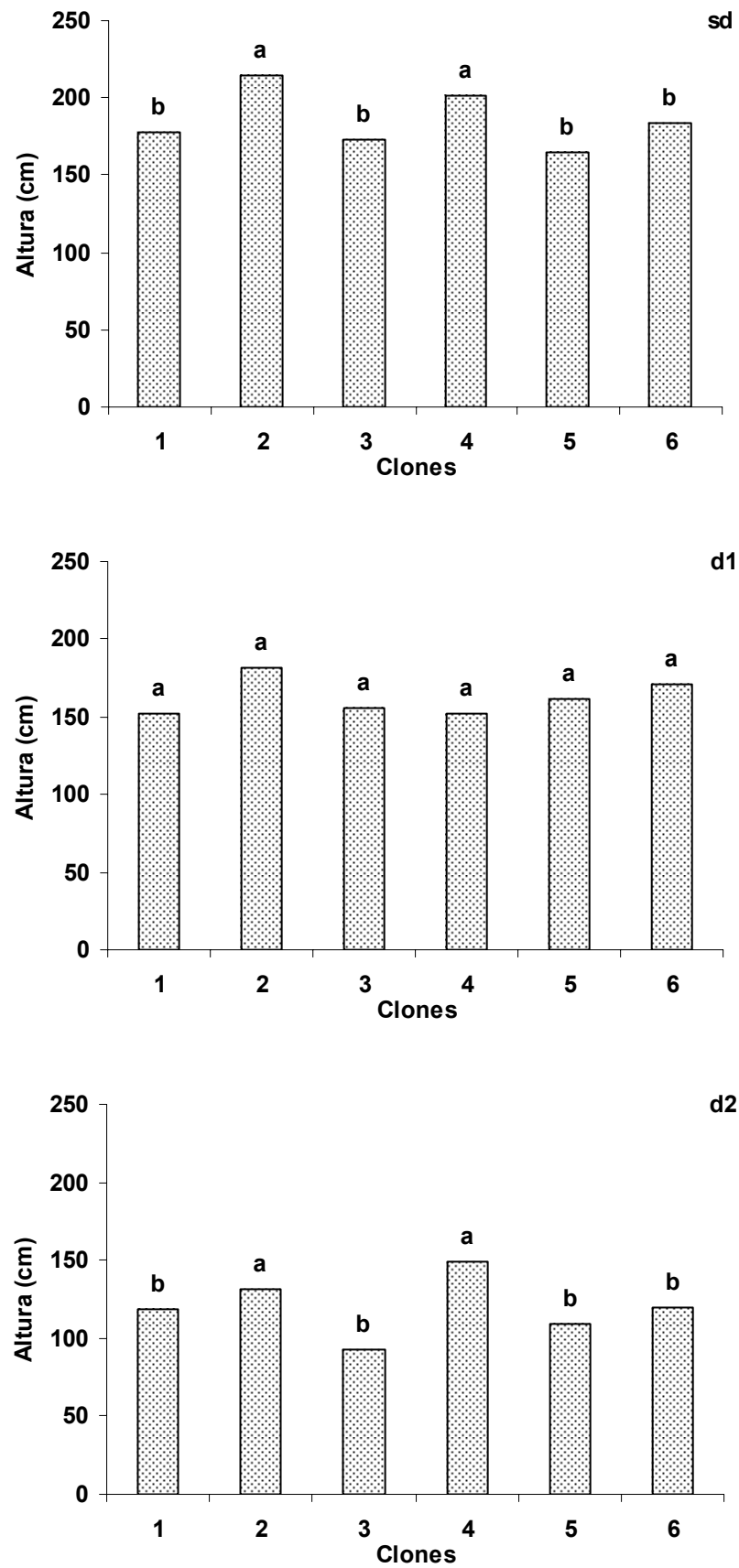


Figura 11 - Altura de seis clones de eucalipto crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, (d1)-déficit 1, (d2)-déficit 2, no final do experimento.

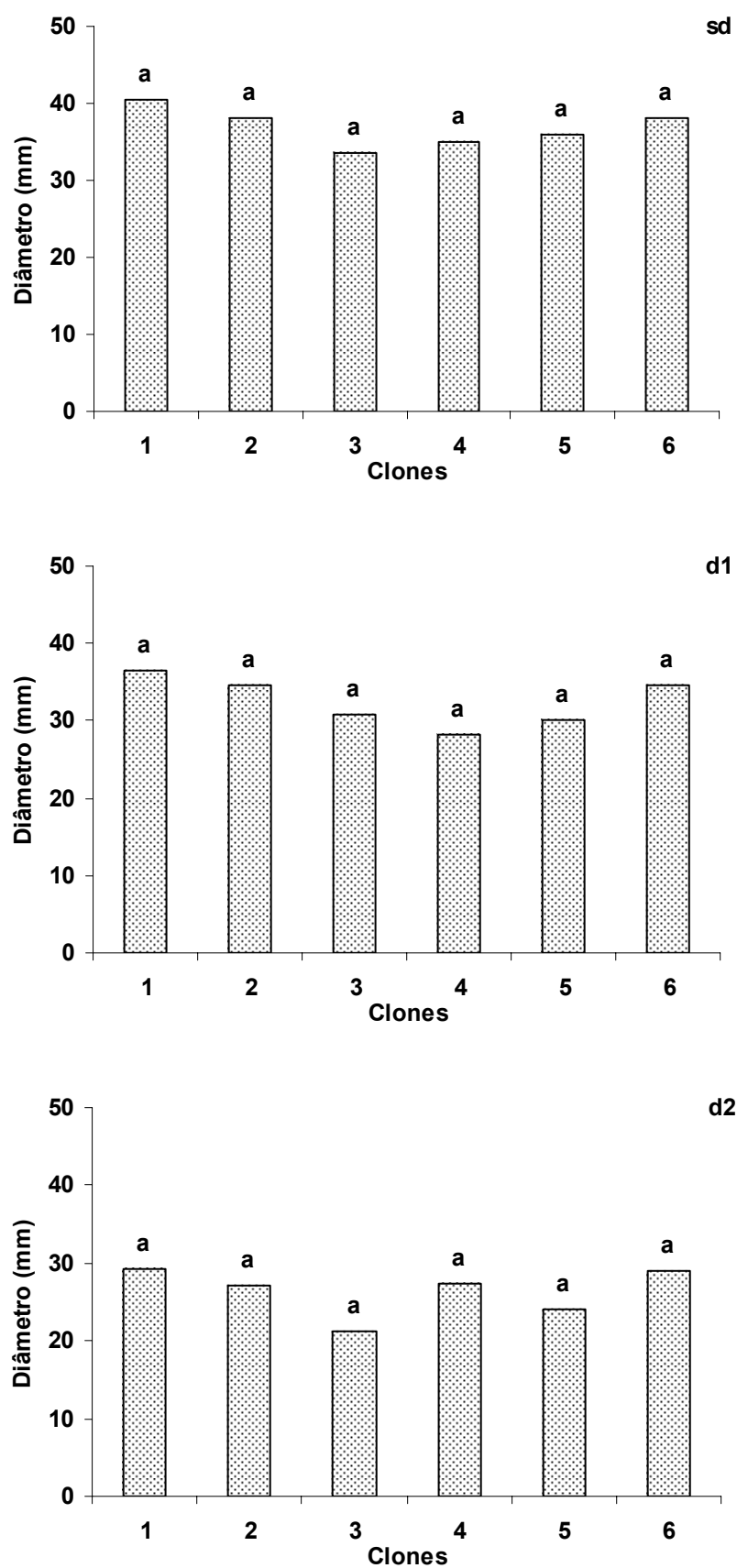


Figura 12 - Diâmetro do coleto de seis clones de eucalipto crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, (d1)-déficit 1, (d2)-déficit 2, no final do experimento.

3.2.2 Avaliação do crescimento e produção individual de cada clone de eucalipto nos manejos hídricos

Ao final do experimento, o acúmulo de matéria seca total de todos os clones foi reduzido pelo déficit hídrico em relação às plantas mantidas em substrato com umidade próximo a capacidade de campo (Figura 10). Nota-se, que entre os manejos hídricos para cada clone, o acúmulo de matéria seca total diferenciaram entre si. Os clones 1, 2, 5 e 6 apresentaram diferença estatística entre os três níveis de manejos hídricos. Entretanto, nos clones 3 e 4 não foi verificada diferença entre os manejos sem déficit e déficit 1, e déficit 1 e 2, respectivamente.

As maiores reduções para matéria seca total foram observadas nas plantas do manejo hídrico déficit 2, em níveis de 47,4, 53,5, 77,5, 47,1, 59,1 e 54,3% para os clones 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Os resultados permitem deduzir que houve uma retomada de crescimento, em virtude do retorno da irrigação no manejo de déficit 1, pois as reduções no acúmulo de matéria seca total neste manejo foram de: 18,1; 24,4; 19,4; 37,5; 41,4 e 20,6% para os clones 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Entretanto, é importante observar, que apesar da redução de 19,4% ocorrida no acúmulo de matéria seca total no clone 3 após a retomada da irrigação, não foi verificada diferença estatística entre o manejo sem déficit e déficit 1.

Vários processos metabólicos nas plantas podem ser influenciados pela baixa disponibilidade de água nos solos, promovendo o fechamento parcial ou total dos estômatos e limitando a perda de água e, como consequência, a fixação de CO₂ (Nobel, 1974) citado por (Silva et al., 1998). Dessa forma, o funcionamento dos estômatos constitui um comprometimento fisiológico, quando abertos, permitindo a assimilação de gás carbono. Fechando-se, conservam água e reduzem o risco de desidratação (Tenhunen et al., 1987). Segundo Barlow (1983), à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração decresce, como resultado do fechamento dos estômatos. Esse é um mecanismo de defesa que as plantas apresentam evitando as perdas de água e eventual morte por dessecação. Na maioria dos casos, o estresse provocado pelo déficit hídrico, medeia a relação de sobrevivência entre plantas, que pode ser medida pela produtividade, crescimento (acumulação de biomassa), ou o processo primário de assimilação do CO₂, que estão relacionados com o crescimento geral das plantas (Taiz & Zeiger, 2004).

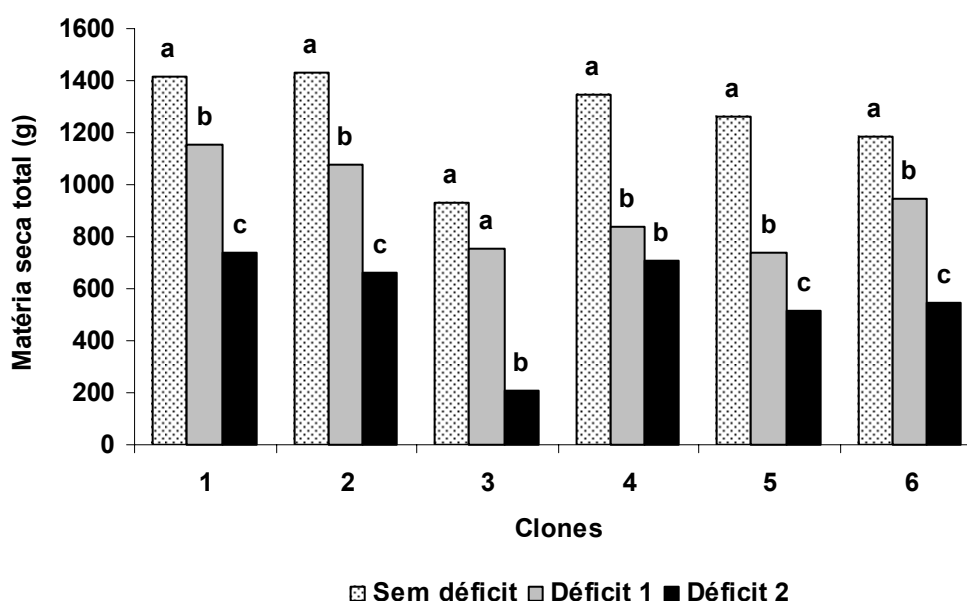


Figura 13 - Matéria seca total de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, no final do experimento.

Uma importante adaptação morfológica induzida pela falta d'água é a alteração da relação raiz/parte aérea onde o desenvolvimento do sistema radicular pode ser favorecido e, com isto, potencializar a absorção de água ao mesmo tempo em que reduz as perdas pela parte aérea (Koslowisk & Pallardy, 1996).

As plantas de seis clones de eucalipto apresentaram diferentes adaptações morfológicas na relação raiz/parte aérea nos diferentes manejos hídricos (Figura 14). Os clones 1, 4 e 6 não apresentaram diferenças estatísticas na relação raiz/parte aérea entre os manejos hídricos. Os clones 2 e 3 apresentaram diferenças estatísticas na relação raiz/parte aérea entre o manejo hídrico déficit 2 em comparação aos manejos sem déficit e déficit 1. É importante observar que, apesar de ter apresentado maiores valores na relação raiz/parte aérea sob o manejo déficit 2, o clone 3 teve seu crescimento na matéria seca total reduzido, principalmente, em relação a matéria seca de raiz, quando comparado aos outros clones, não sendo recomendado para plantios em área com limitada disponibilidade de água no solo. O clone 5 apresentou reduzida relação raiz/parte aérea no manejo déficit 2, quando comparado ao manejo sem déficit e déficit 1, sugerindo ineficiente estratégia para o estabelecimento em solos sob deficiência hídrica. Segundo Façanha (1983) a relação raiz/parte aérea varia entre espécies quando submetido ao déficit hídrico.

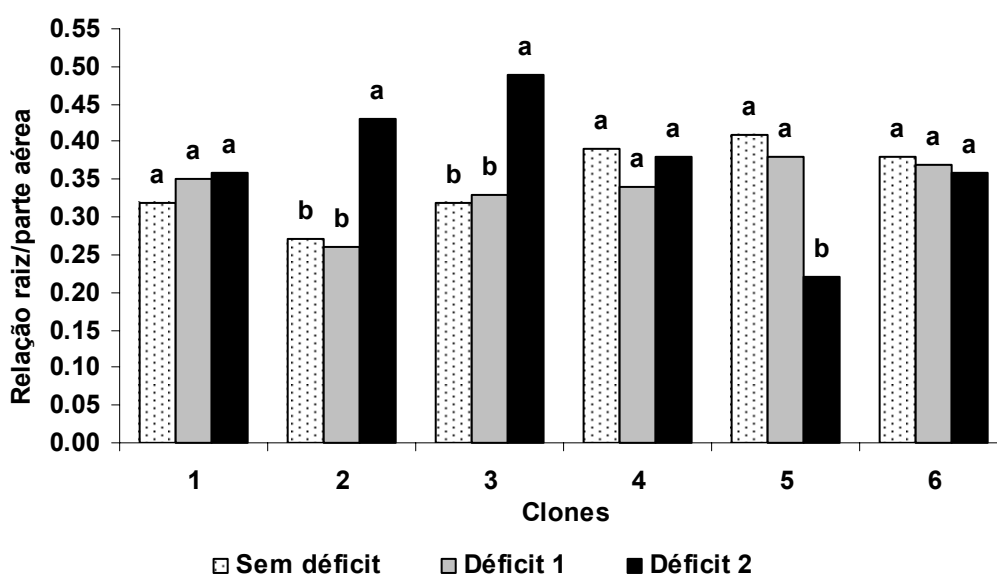


Figura 14 - Relação raiz/parte aérea de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, no final do experimento.

O mesmo autor encontrou aumentos na relação raiz/parte aérea em mudas de *E. camaldulensis* e reduções no *E. grandis* e *E. cloeziana*, quando submetidos ao déficit hídrico.

A área foliar das plantas foi drasticamente afetada pelo déficit hídrico, com redução variando de 52,5%, para o clone 4 a 84,7% para o clone 3, nas plantas sem déficit em relação às mantidas sob o déficit 2 (Figura 15). A redução da área foliar nas plantas sob estresse hídrico prolongado (déficit 2) se deu tanto pela abscisão foliar quanto pela redução do tamanho das folhas. Em determinadas plantas o estresse hídrico não limita apenas o tamanho, mas também o número de folhas, pois ele diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos. As reduções na matéria seca das folhas e área foliar das plantas podem ser resultado da queda das folhas, a depender da intensidade do déficit hídrico. A abscisão foliar durante ao déficit hídrico resulta em grande parte da síntese acentuada e da sensibilidade ao etileno (Taiz & Zeiger, 2004).

A área foliar pode ser usada para se avaliar o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas. A perda de folhas contribui de forma efetiva na redução da superfície transpiracional das plantas lenhosas (Larcher, 2004).

Nota-se para área foliar, que todos os clones no manejo hídrico déficit 1 apresentaram diferença estatística em relação aos mantidos no manejo déficit 2. A retomada da irrigação contribuiu para crescimentos significativos na área foliar dos

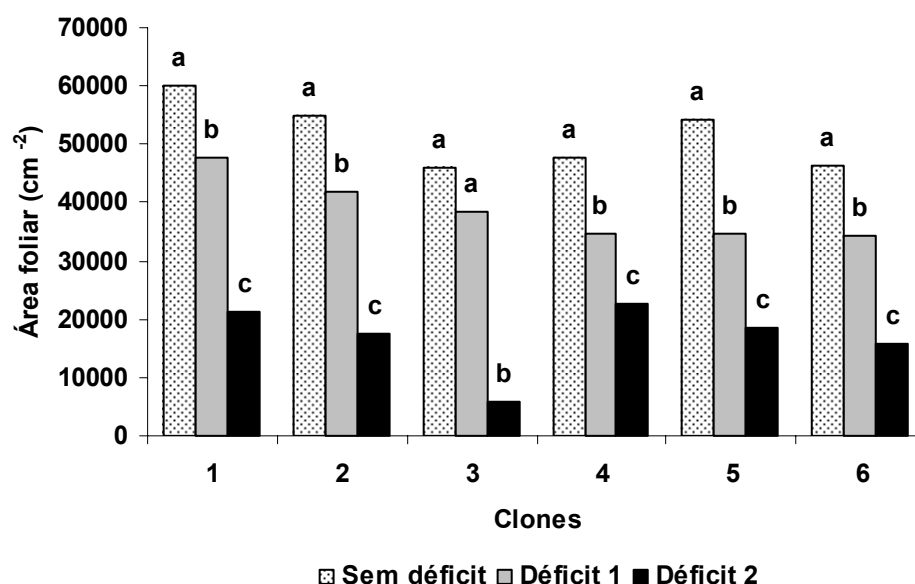


Figura 15 - Área foliar de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, no final do experimento.

clones no manejo déficit 1.

A altura e diâmetro do coleto das plantas também apresentaram redução com o déficit hídrico no substrato, quando comparado com o manejo sem déficit (Figuras 16 e 17). Sendo que os clones submetidos ao manejo déficit hídrico 2 os mais afetados, com redução em altura variando de 25,8% para o clone 4 a 46,6% para o clone 3. Enquanto que para o diâmetro a redução variou de 21,9% e 46,6% para os respectivos clones.

Observa-se que para os clones 1 e 2 que a altura apresentou diferença estatística, entre os três níveis de manejos hídricos adotados, enquanto que os clones 3, 5 e 6 não apresentaram diferenças estatísticas entre os manejos sem déficit e déficit 1, verificando a recuperação do crescimento em altura após a retomada da irrigação (déficit 1) semelhante às plantas mantidas com umidade próxima à capacidade de campo (sem déficit). Por sua vez, o clone 4 não apresentou diferença entre o manejo déficit 1 e 2, o que indica que a retomada da irrigação no manejo de déficit 1, não foi suficiente para este clone recuperar seu crescimento em altura (Figura 16).

O clone 4 no manejo déficit 1, após a retomada da irrigação depois de 45 dias de déficit, não recuperou de forma significativa o crescimento em diâmetro,

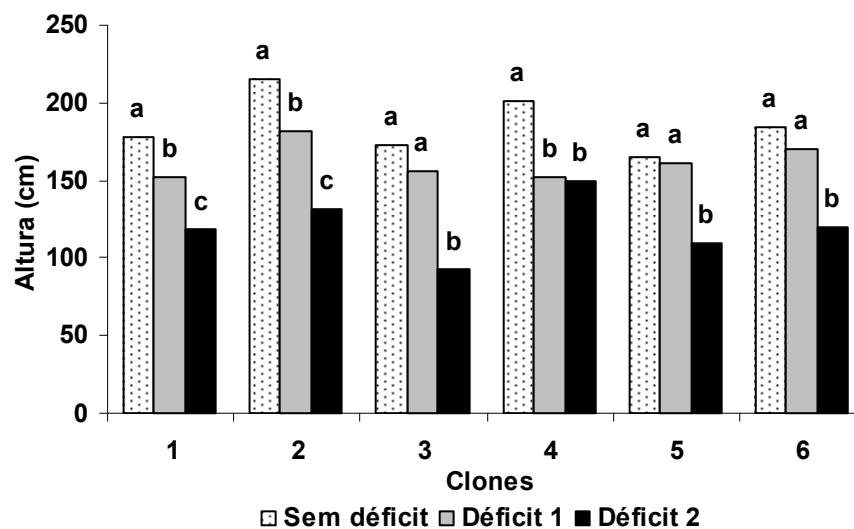


Figura 16 - Altura de seis clones e eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, no final do experimento.

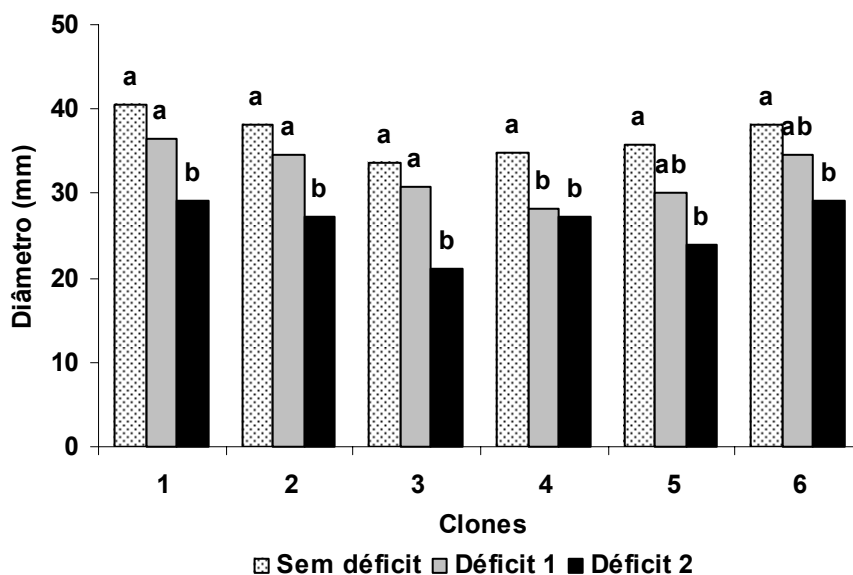


Figura 17 - Diâmetro do coleto de seis clones e eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, no final do experimento.

já que a diferença entre o tratamento déficit 1 e 2 não existiu (Figura 17). Nota-se, ainda, para o diâmetro em todos os clones, exceto o 4, que os níveis de manejo sem déficit e déficit 1 não se diferenciaram.

4. CONCLUSÕES

O déficit hídrico promoveu redução na matéria seca total, sendo a variável de crescimento que melhor demonstrou as diferenças entre os clones estudados.

O grupo formado pelos clones 1, 2 e 4 foi o mais produtivo em relação ao acúmulo de matéria seca total nos manejos hídricos sem déficit e déficit 2. Enquanto que, após a retomada da irrigação no manejo déficit 1 os clones 1 e 2 formaram o grupo mais produtivo, apresentando maior acúmulo de matéria seca total.

No manejo de déficit hídrico 2 a maior redução de matéria seca total foi apresentada nos clones 3 e 5, apresentando redução de 77,5 e 59,1%, respectivamente, em relação às plantas mantidas sem déficit. A maior redução na matéria seca das folhas encontrada entre os manejos sem déficit e déficit 2 foi observada para o clone 3, com 78%, e a menor para o clone 4, com 39%, devido, principalmente, a abscisão foliar acarretada pelo déficit hídrico. Em relação ao acúmulo de matéria seca das raízes, as maiores reduções ocorreram para os clones 5 e 3 com 74,3 e 67,39 %, respectivamente, e a menor para o clone 2 com 34,5%.

A haste e ramos foi o componente que mais contribuiu para a alta produção de matéria seca total nos diferentes manejos hídricos, representando 41,1% da matéria seca total para o clone 1 e 44,4% para o clone 2 no manejo hídrico sem déficit.

O clone 5 formou o grupo que apresentou o menor valor para a relação raiz/parte aérea no manejo déficit 2, indicando ser o clone com estratégia ineficiente para o estabelecimento em solos sob deficiência hídrica.

A área foliar foi bastante reduzida pelo déficit hídrico. Os clones 1, 2 e 4 formaram o grupo de clones com maior área foliar, sob o manejo sem déficit, e sob o

manejo déficit 1, os clones 1 e 2 formaram o grupo que apresentou maior retomada de crescimento em área foliar. Entretanto, sob o manejo déficit 2, o grupo formado pelo clone 3 apresentou menor área foliar, causada principalmente pela abscisão foliar.

O déficit hídrico afetou negativamente o crescimento em altura e diâmetro dos clones estudados. Na avaliação da altura, os clones 2 e 4 foram os que obtiveram maior crescimento no nível do manejo hídrico sem déficit e déficit 2. Para diâmetro, nenhum clone dentro dos respectivos manejos diferiu estatisticamente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARLOW, E.W.R. Water relations of the mature leaf. In: DALE, J.E.; MILTHORPE, F.L., (Ed.). **The growth and functioning of leaves**. Cambridge: University Press, 1983. p.315-345.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7.ed. Viçosa : UFV, 2005. 611p.

CHAVES, J.H. **Crescimento, fotossíntese e relações hídricas de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. Viçosa: UFV, 2001. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CENTURION, J.F.; ANDREOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.701-709, 2000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997.212p.

FAÇANHA, J.G.V. **Aspectos fisiológicos do crescimento de *Eucalyptus* spp. Submetidos a deficiência hídrica**. Viçosa: UFV, 1983. 47f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

GHOLZ, H.L.; EWEL, K.C.; TESKEY, R.O. Water and forest productivity. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, v. 30, p.1-18, 1990.

GONÇALVES, M.R.; PASSOS, C.A.M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidos a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.2, p. 145-161, 2000.

KOSLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. **Physiology of woody plants**, 2.ed. San Diego, 1996, 411p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004, 531p.

LI, C.; BERNINGER, F.; KOSKELA, J.; SONNINEN, E. Drought responses of *Eucalyptus microtheca* provenances depend on seasonality of rainfall in their place of. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.27, n.3, p.231-238, 2000.

LI, C. Variations of seedlings traits of *Eucalyptus microtheca* origins in different watering regimes. **Silvae Genetica**, Grosshansdorf, v.47,n.2-3. 1998b.

OSÓRIO, J.; OSÓRIO, M.L.; FAÇANHA, J.G.V. Avaliação da resistência à seca de *Eucalyptus* spp., mediante termometria a infravermelho. **Revista Árvore**, Viçosa, v.8, n.2, p.363-373, 1998.

SASSE, J.; SANDS, R. Comparative responses of cottungs and seedlings of *Eucalyptus globulus* to water stress. **Tree Physiology**, Victoria, v.16,n.1-2, p.287-294,1996.

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A.A.; SOUZA, A.P. Taxa fotossintética líquida de *Eucalyptus citriodora* Hook e *E. grandis* W.Hill em respostas a níveis de água no solo e associação com *Brachiaria brizantha* Staf. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.23, n.5, p.1205-1209, 2001.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R.A. Seja doutor de seu eucalipto. **Arquivo do Agrônomo**. São Paulo. Potafos, n.12, p.1-32, 2001.

SOUSA, M. B. A.; MANTOVANI, E. C.;SOUZA, L. O.; BUFON, V. N.; BONOMO, R. Avaliação de irrigação em propriedades de café conilon no norte do Espírito Santo. In: **Irrigação do cafeeiro: Informações técnicas e coletâneas de trabalhos**.Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais:UFV; DEA, 2003.260p.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; BERNARDO, A.L., et al. Efeito do tempo de estocagem de mudas de *Eucalyptus* produzidas em tubetes sobre produção de biomassa após o transplântio. **Revista Árvore**, v.15, n.2, p.103-111, 1991.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; MAESTRI, M. Crescimento e realções hídricas de mudas de *Eucalyptus camaldulensis*, *E.grandis* e *E. cloezina* spp. em tubetes sob três regimes de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa, v.12, n.2, p. 183-195, 1988b.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de. Ciência do Solo**, v.12, p. 211-216, 1988.

TAIZ, L., ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 2004. 719p.

TENHUNEN, J.D.; PEARCY, R.W.; LARANCE, O.L. Diurnal variation in leaf conductance gas exchange in natural environments. In: ZEIGER, E.; FARQUHAR, G.; COWAN, I (Ed.). **Stomatal function**. Stanford: Stanford University Press, 1987. p.323-351.

VANGENUCHTEN, M.T. A closed-form for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.41, p.892-898,1980.

CAPÍTULO 2

TROCAS GASOSAS E STATUS HÍDRICO DE CLONES DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO

RESUMO

Tatagiba, Sandro Dan, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, fevereiro de 2006. **Trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação.** Orientador: José Eduardo Macedo Pezzopane. Co-orientadores: Edvaldo Fialho dos Reis e Ricardo Miguel Penchel Filho.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do déficit hídrico sobre as trocas gasosas (fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração) e do potencial hídrico foliar em seis clones de eucalipto (1, 2, 3, 4, 5 e 6) estabelecidos em vasos plásticos de diâmetro de 42 cm e altura de 72 cm, com aproximadamente 100 dm³, de modo a subsidiar a seleção precoce desses materiais genéticos para estabelecimento em áreas com disponibilidade diferenciada de água no solo. As plantas cresceram nos vasos com teor de água próximo à capacidade de campo por um período de 150 dias, quando, então, foram iniciados os manejos hídricos diferenciados que se estenderam por 250 dias. Um dos manejos hídricos foi avaliar a resposta da retomada da irrigação após os clones serem submetidos a deficiência hídrica. O déficit hídrico promoveu redução dos valores da fotossíntese, condutância estomática, e transpiração de todos os clones. Os clones 1, 2 e 4 apresentaram valores mais altos de potencial hídrico foliar nas plantas submetidas ao déficit hídrico, ao longo das campanhas realizadas, mostrando obter mecanismos eficientes no controle de perda de água, já que apresentaram as menores taxas transpiratórias e menores valores de condutância estomática. Estes clones apresentaram menor

consumo de água, favorecendo a planta a suportar períodos longos de déficit hídrico e possibilitando uma maior fixação de carbono. O clone 3 apresentou baixa fotossíntese, condutância estomática e transpiração quando submetido ao déficit hídrico nas duas campanhas realizadas. Enquanto o clone 5, durante a primeira campanha, sob déficit hídrico, apresentou os menores valores das taxas fotossintéticas, não mantendo a mesma resposta na segunda campanha, possivelmente em virtude de chuvas ocorridas próximas aos dias das medições. O clone 6 apresentou maior transpiração no nível de manejo sem déficit e sob déficit em relação aos demais clones, sugerindo elevado consumo de água. Após a retomada da irrigação por 55 dias, todos os clones recuperaram suas taxas fotossintéticas similares às registradas pelos clones mantidos sem déficit.

Palavras-chave: eucalipto, clone, manejos hídricos, trocas gasosas, potencial hídrico foliar.

ABSTRACT

Tatagiba, Sandro Dan, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, february, 2006. **Gaseous changes and water status of eucalyptus clones under different irrigation regime.** Adviser: José Eduardo Macedo Pezzopane. Co-advisers: Edvaldo Fialho dos Reis and Ricardo Miguel Penchel Filho.

The objective of this work was to evaluate the effect of the water deficit about the gaseous changes (liquid photosynthesis, stomatal conductance and transpiration) and of the leaf water potential in six eucalyptus clones (1, 2, 3, 4, 5 and 6) established in plastic vases of diameter of 42 cm and height of 72 cm, with approximately 100 dm³, in a way to subsidize the precocious selection of these genetic materials for establishment in areas with differentiated availability of water in the soil. The plants grew in the vases with close tenor of water to the field capacity for a period of 150 days, when, then began the differentiated water handlings that of were extended for 250 days. One of the water handlings was to evaluate the answer of the retaking of the irrigation after the clones being submitted to the water deficiency. The water deficit promoted reduction of the values of the photosynthesis, stomatal conductance and transpiration of all the clones. The clones 1, 2 and 4 presented higher values of leaf water potential in the plants submitted to the deficit of water, along the accomplished campaigns, showing to obtain efficient mechanisms in the control of losing of water, since they presented the smallest rate transpiratory and smallest values of stomatal conductance. These clones presented smaller consumption of water, favoring the plant to support long periods of water deficit and making possible a larger fixation of carbon. The clone 3 presented low photosynthesis, stomatal conductance and transpiration when submitted to the deficit of water in the two accomplished campaigns. While the clone 5, during

the first campaign under water deficit, presented the smallest values of the photosynthesis rate, not maintaining the same answer in the second campaign, possibly because of rains accured near of the days of measurements. The clone 6 presented larger transpiration in the handling level without deficit and under deficit in relation to the other clones, suggesting high consumption of water. After the retaking of the irrigation for 55 days, all the clones recovered their similar photosynthesis rate to the ones registered by the clones maintained without deficit.

Key-words: eucalyptus, clone, handlings of water, gaseous changes, leaf water potential.

1. INTRODUÇÃO

O uso de material genético de eucalipto capaz de se estabelecer e se desenvolver em condições de deficiência hídrica no solo pode ser de fundamental importância para o êxito de um povoamento florestal. A identificação desses genótipos para implantação em condições ambientais adversas, especialmente em relação à deficiência hídrica no solo, é um desafio para muitas empresas florestais.

Diversos autores indicam que a maioria das espécies de eucalipto utilizada em plantios comerciais apresenta elevado consumo de água, quando este recurso é facilmente disponível Mielke, (1997); Li et al. (2000); Lane et al. (2004); Leuning et al. (2005). Entretanto, à medida que a disponibilidade de água diminui, inicia-se o controle da transpiração, que é mediada pelo fechamento parcial ou total dos estômatos (Pereira et al., 1986; Gonçalves, 1992; Roberts et al., 1992; Chaves et al., 2004).

O movimento estomático é o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores. Através dos estômatos ocorre o influxo de CO_2 , necessário ao processo fotossintético e ao crescimento, e o efluxo de água, por meio da transpiração (Baldochi et al., 1991; Nobel, 1991; Larcher, 2004; Taiz & Zeiger, 2004). Para a grande maioria das espécies, o fechamento estomático ocorre após certos valores da disponibilidade hídrica do solo terem sido atingidos (Taiz & Zeiger, 2004). Além da disponibilidade de água no solo, o movimento dos estômatos pode ser diretamente influenciado por diversos fatores do ambiente, como: radiação solar, déficit de pressão de vapor, concentração de CO_2 na atmosfera e temperatura da folha e do ar (Baldochi et al., 1991; Hinckley & Braatne, 1994).

Medições do potencial hídrico foliar podem, também, fornecer informações

que permitem identificar o status hídrico em que se encontram as plantas. Para a maioria das espécies, o potencial hídrico acompanha as variações diurnas da demanda evaporativa da atmosfera, atingindo um valor máximo logo antes do nascer do sol. Nesse momento, as plantas encontram-se com a máxima turgescência em uma dada condição hídrica no solo (Kramer & Boyer, 1995). Dessa forma, o potencial hídrico antemanhã, antes do nascer do sol, tem sido considerado um indicativo do estado hídrico das plantas e da água disponível no solo (Larcher, 2004).

Na tentativa de subsidiar a seleção de clones de eucaliptos resistentes ao déficit hídrico, estudou-se o comportamento das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar de seis clones de eucalipto submetidos a diferentes níveis de manejo hídrico no solo, em condições controladas, de modo a viabilizar a seleção desses genótipos para plantio em ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material experimental e delineamento estatístico

Foram utilizadas mudas de seis clones comerciais de eucalipto produzidas pela Aracruz Celulose S/A, na unidade Barra do Riacho, localizada no município de Aracruz, no Estado do Espírito Santo. As mudas foram produzidas em tubetes plásticos de aproximadamente 54 ml pelo método estaquia.

O experimento foi realizado na área experimental do Núcleo de Estudos e Difusão de Tecnologia em Florestas, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável (NEDTEC), do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro, situado na latitude 20°47'25"S e longitude 41°23'48"W, a altitude de 120m, no período de fevereiro a outubro de 2005.

Aos 90 dias de idade, após a produção das mudas, estas passaram por uma seleção quanto à uniformidade e foram transplantadas para vasos de diâmetro de 42 cm e altura de 72 cm, com capacidade de aproximadamente 100 dm³. Estes vasos apresentavam furos circulares de 5 cm de diâmetro em suas faces laterais, a fim de permitir melhor aeração das raízes e escoar o excesso de água. O substrato utilizado foi constituído com de solo extraído de camadas na profundidade de aproximadamente 40 a 80 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo (55%), areia lavada (30%) e composto de casca bioestabilizada de eucalipto (15%). Foi realizada análise granulométrica do substrato, obtendo-se a classificação textural como franco arenoso (Tabela 1).

No plantio não foi necessário fazer adubação e correção da acidez do solo, verificada através análise química. Durante o período experimental foram realizadas

Tabela 1 - Análise granulométrica das proporções existentes de cada fração no substrato

Areia grossa (0,201mm)	Areia fina (0,053mm)	Areia Total	Argila (<0,002mm)	Silte
(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
598,705	87,205	685,91	193,1	120,99

quatro adubações de cobertura, conforme Arquivo do Agrônomo da Potafos (Silveira et al., 2001), sendo a primeira realizada a partir de 45 dias após o transplântio. As demais adubações seguiram o mesmo intervalo de tempo após a última realizada. Estas adubações foram realizadas de modo a fornecer 1,20 mg de nitrogênio e 1,25 mg de potássio para cada vaso, na primeira coberta, e 1,80 mg de nitrogênio e 2,0 mg de potássio para cada vaso nas demais coberturas, aplicados na forma de uréia e cloreto de potássio. Os adubos foram diluídos em frasco contendo 100 ml de água e aplicados em cada um dos vasos.

O experimento foi subdividido em duas campanhas de coletas de dados fisiológicos ao longo tempo, sendo: a primeira campanha foi constituída de um esquema fatorial 2x6, com fator manejo hídrico em dois níveis (Sem déficit, Déficit) e o fator clone em seis níveis (1; 2; 3; 4; 5; 6), num Delineamento Inteiramente Casualizado; e a segunda campanha foi constituída de um esquema fatorial 3x6, com o fator manejo hídrico em três níveis (Sem déficit, Déficit 1 e Déficit 2) e o fator clone em seis níveis (1; 2; 3; 4; 5; 6), num Delineamento Inteiramente Casualizado. Em todas as campanhas foram utilizadas quatro repetições para as trocas gasosas e três para potencial hídrico.

Após o transplântio as mudas cresceram nos vasos próximo a capacidade de campo por um período de 150 dias, quando, então, foram iniciados os manejos de irrigação diferenciados até o final do experimento, estendendo-se por 250 dias. Nesta época os vasos foram vedados com lona preta plástica e fita adesiva, a fim de evitar a entrada de água por precipitação e possibilitar a indução dos déficits hídricos a serem aplicados:

- Sem déficit: manutenção dos vasos próximo à capacidade de campo ao longo de todo o período experimental, ou seja, 250 dias.
- Déficit 1: suspensão da irrigação aos 150 dias de experimentação, durante 45 dias e posterior retomada da irrigação por mais 55 dias.
- Déficit 2: suspensão da irrigação aos 150 dias de experimentação, prolongando até o final do experimento (100 dias de déficit hídrico).

Nas planilhas eletrônicas do Excel, realizou-se o estudo de regressão entre a umidade do substrato e o potencial hídrico antemanhã. Foi realizado o teste F da análise de variância a 5% no modelo proposto para verificar se a variável independente influencia significativamente sobre a dependente.

2.2 Descrição das características avaliadas

2.2.1 Características microclimáticas

Para obtenção das variáveis microclimáticas, foi instalada uma estação meteorológica automática, possibilitando o armazenamento e o processamento dos dados no sistema de coleta (datalogger), modelo CR 10 da Campbell Scientific. Na estação, estavam acoplados sensores de temperatura e umidade relativa do ar modelo HMP35C (Campbell Scientific) e um piranômetro, modelo SP-Lite (Kipp & Zonen), media a radiação solar global. A precipitação pluviométrica era medida através de sensores modelo, TB4-L da Campbell Scientific. O déficit de pressão de vapor do ar (Δe) foi calculado a partir das leituras de pressão de saturação de vapor d' água (e_s) e pressão parcial de vapor (e_a), segundo Pereira et al. (2002). A equação de Tetens nos fornece a pressão de saturação de vapor (e_s):

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{7,5 T_a / 237,3 + T_a}$$

em que:

T_a é a temperatura do ar, em °C, e e_s expressa em kPa.

O déficit de pressão de vapor do ar (Δe) é obtido pela diferença entre e_s e e_a . A pressão parcial de vapor (e_a) varia desde zero, para ar totalmente seco, até um valor máximo denominado pressão de saturação de vapor (e_s).

$$\Delta e = e_s - e_a$$

O monitoramento da umidade do substrato nos vasos sem déficit hídrico foi realizado por sensores acoplados ao datalogger, modelo CS616 da Campbell Scientific, e método termogravimétrico (EMBRAPA, 1997), a 30 cm de profundidade da superfície. Nos vasos sob déficit hídrico, o monitoramento da umidade do substrato foi realizado pelo método termogravimétrico, devido à limitação dos sensores a teores de umidade inferiores a 18%.

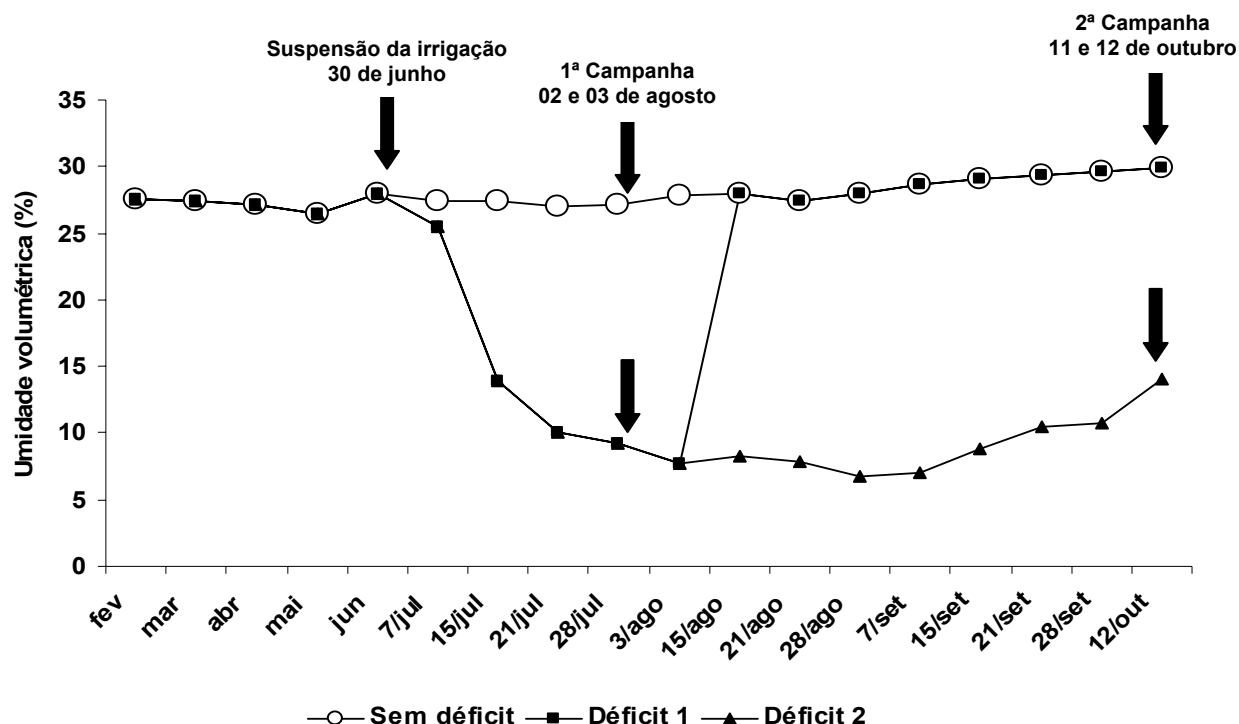


Figura 1 - Variação da umidade do substrato nos respectivos manejos hídricos adotados nos vasos, medido a 30 cm de profundidade, durante o período experimental, entre 02 de fevereiro e 12 de outubro de 2005.

Durante todo o período experimental foi monitorada a umidade volumétrica do substrato, a fim de determinar a condição hídrica prevalente (Figura 1). Verifica-se que a irrigação próxima à capacidade de campo foi suspensa no dia 30 de junho, a fim de submeter os manejos hídricos de déficit às plantas. Observa-se que a retomada da irrigação ocorreu no dia 15 de agosto para o déficit 1, enquanto que no manejo de déficit 2 a irrigação continuou suspensa até o final do experimento.

A umidade volumétrica na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente encontrada foi de 30,2 e 12,9% respectivamente. Nota-se, que a umidade do substrato no manejo hídrico sem déficit, ficou bem próxima à capacidade de campo durante todo o período experimental, com média de 27,9%. Enquanto que, sob déficit, a umidade atingiu valores abaixo do ponto de murcha permanente, com média de 9,1% logo após a estabilização da umidade na semana do dia 21 de julho.

Na primeira campanha realizada há 32 dias depois da suspensão da irrigação, os manejos hídricos déficit 1 e 2, eram os mesmos nessa época (Figura 1).

E em função disso, obtivemos nessa campanha somente os manejos hídricos sem déficit e déficit.

2.2.2 Características fisiológicas

Durante a primeira campanha, realizada nos dias 2 a 3 de agosto, foram medidas na superfície de quatro folhas totalmente expandidas na parte externa do terço superior da copa em de uma única planta, a fotossíntese líquida, a condutância estomática e a transpiração, com auxílio de um analisador a gases infravermelho portátil (Irga), modelo Li-6400 da LICOR, utilizando uma fonte luminosa fixa em $1500 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de intensidade de radiação fotossinteticamente ativa (Figura 2a). Enquanto na segunda campanha realizada nos dias 11 e 12 de outubro, foi utilizado um analisador de gases a infravermelho (Irga) modelo LCA-4 da ADC, sem fonte luminosa fixa, recebendo somente a radiação solar incidente (Figura 2b). As leituras foram realizadas ao longo de cinco horários durante o dia, às 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 horas. A utilização de dois Irgas, se deu pelo fato de falhas ocorridas no momento das leituras de trocas gasosas durante a segunda campanha, apresentado pelo Irga da LICOR, precisando ser substituído pelo Irga da ADC.

É importante salientar que os Irgas possuem diferenças em suas leituras. O Irga modelo Li-6400 da LICOR mede as trocas gasosas na superfície baxial e abaxial das folhas, enquanto o Irga modelo LCA-4 da ADC as medidas são feitas somente na superfície abaxial.

Para a determinação do potencial hídrico foliar, utilizou-se uma bomba de pressão (Figura 3) PMS 1003 (PMS Instruments Co.), segundo Sholander et al. (1965), em uma folha totalmente expandida de três plantas, localizada na parte externa do terço superior do dossel. Avaliou-se, em quatro horários durante o dia, às 4:30 (antemanhã), 8:00, 12:00 e 16:00 horas.

Os dados experimentais das trocas gasosas no horário das 10:00 horas e do potencial hídrico foliar antemanhã (04:30 horas) foram submetidos à análise de variância, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste Tukey e de Scott Knott a 5% de probabilidade, utilizando software SAEG. A escolha deste horário deveu-se ao fato de que na maioria das plantas apresentou maior eficiência na fixação de carbono pela manhã, acentuando as respostas das mesmas nos manejos hídricos, e ao fato do potencial hídrico foliar antemanhã, ser considerado um indicativo do estado hídrico das plantas, apresentando a maior



Figura 2 - IRGAS utilizados nas avaliações das trocas gasosas durante as duas campanhas de campo. (a) IRGA modelo Li-6400 da LICOR com fonte luminosa fixa acoplada, (b) IRGA modelo LCA-4 da ADC, sem fonte luminosa, recebendo somente a radiação solar incidente (c) medições das trocas gasosas no campo.



(a)



(b)

Figura 3 - (a) Detalhe da bomba de Sholander, (b) medições do potencial hídrico foliar no campo.

turgescência possível para uma dada condição hídrica encontrada no solo.

2.3 Água disponível e lâmina de irrigação

Foi montado um sistema de irrigação localizada por gotejamento, utilizando dois gotejadores autocompensantes por vaso da marca Rain Bird, com vazão de aproximadamente 4,5 litros/hora para cada gotejador. No início do experimento os vasos foram submetidos à saturação por água durante 3 dias consecutivos, durante 6 horas por dia, e logo depois à drenagem livre, por um período de 24 horas, até o total cessamento e estabilização da umidade volumétrica na capacidade de campo, quando foi feito o transplante das mudas.

A curva de retenção de água do substrato, por secamento, foi determinada conforme EMBRAPA (1997), a partir de amostras deformadas, previamente peneiradas, que depois de saturadas por no mínimo 12 horas, foram levadas à câmara de pressão de Richards com placa porosa para estabilização, adotando-se um tempo não inferior a três dias e posterior determinação da umidade gravimétrica (U), correspondente às tensões de: 0,006; 0,010; 0,033; 0,08; 0,10; 0,30; 0,8 e 1,5 MPa, com três repetições. A umidade volumétrica (θ) para cada uma das tensões foi obtida pelo produto da umidade gravimétrica pela densidade do solo ($\theta = U \cdot D_s$). Os valores médios de umidade volumétrica na curva de retenção do substrato foram ajustados utilizando-se o modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980).

A água disponível (AD) encontrada foi de 17,3%, calculada observando-se os valores de umidade volumétrica na curva de retenção do substrato para a capacidade de campo (CC) em 30,2% determinada na tensão de 0,006 MPa e para o ponto de murcha permanente (PMP) em 12,9% na tensão de 1,5 MPa, utilizando-se a seguinte expressão: $AD = CC - PMP$ (Centurion & Andreoli, 2000).

Para elevar o teor de umidade à capacidade de campo, foi empregada a equação:

$$L = [(CC - U_a)/10] \times D_s \times Z \text{ (Sousa et al., 2003)}$$

L- Lâmina de irrigação, em mm; CC - umidade na capacidade de campo, % em peso; U_a - umidade atual do solo, % em peso, estabelecida em 25,7% para reinício das irrigações; D_s - densidade do solo, em g.cm^{-3} e Z- profundidade do sistema

radicular, em cm. Para transformar a lâmina de irrigação (L) em volume (L/vaso), multiplicou-se L pela área do vaso ($0,139 \text{ m}^2$).

A irrigação total necessária (ITN) dada em mm foi calculada pela equação:

$$\text{ITN} = L/Ea, \text{ (Bernardo et al., 2005)}$$

em que:

IRN – lâmina de irrigação, em mm e Ea - eficiência de aplicação da irrigação, a qual foi utilizada 90%.

O tempo (T) de irrigação foi determinado pela seguinte equação:

$$T = \text{ITN} / n \times q \text{ (Bernardo et al., 2005)}$$

em que:

ITN - irrigação total necessária, em mm; n- número de gotejadores e q- vazão dos gotejadores, litros/hora.

As lâminas de irrigação a serem aplicadas foram divididas no tempo, de acordo com crescimento da planta e pelo acompanhamento do desenvolvimento do sistema radicular em profundidade. Foram utilizadas três profundidades do sistema radicular, 30, 55 e 72 cm, para o cálculo da lâmina de irrigação. A primeira e a segunda lâmina foram aplicadas durante um período de 80 dias, respectivamente, enquanto a terceira, foi aplicada por 90 dias, ou seja, prevaleceu até o final do experimento.

A determinação da densidade do solo foi adquirida pelo Método da proveta, de acordo com o Manual de Métodos de Análise do Solo (EMBRAPA, 1997), encontrando o valor de $1,18 \text{ g.cm}^{-3}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Primeira Campanha de Campo - Trocas gasosas e potencial hídrico foliar sob dois manejos hídrico

A figura 4 apresenta a avaliação do estudo em conjunto dos grupos de clones de eucalipto para as das trocas gasosas e potencial hídrico foliar nos dois níveis de manejos hídricos aplicados (sem déficit e déficit). Foram formados diferentes grupos entre os clones nos dois manejos hídricos adotados para as variáveis fisiológicas estudadas, exceto, para o potencial hídrico foliar antemanhã submetido ao manejo hídrico sem déficit. Para a fotossíntese, de acordo com o teste de Scott-Knott, foram formados três grupos no manejo sem déficit hídrico e quatro grupos no nível manejo de déficit. Sob o nível de manejo sem déficit os clones 2, 3, 5 e 6, não apresentaram diferença estatística entre si, formando o grupo que apresentou maior assimilação do CO₂ com média em torno de 21,16 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Por outro lado, o grupo formado pelo clone 1 apresentou intermediária taxa fotossintética com 17,32 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. O clone 4 formou o grupo que apresentou a menor taxa fotossintética com 14,52 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

O grupo formado pelo clone 1, seguido do grupo formado pelo clone 6 apresentaram as maiores taxas fotossintéticas no manejo hídrico de déficit. A maior taxa fotossintética encontrada no grupo formado pelo clone 1 crescendo sob deficiência hídrica, indica em termos de competição, a ser o clone que provavelmente pode alcançar maior crescimento, podendo ser uma estratégia que possibilite seu estabelecimento no campo. Enquanto que, o grupo formado pelos clones 2 e 4; e posteriormente o grupo dos clones 3 e 5, apresentaram os menores valores de fotossíntese quando mantidos sob déficit hídrico.

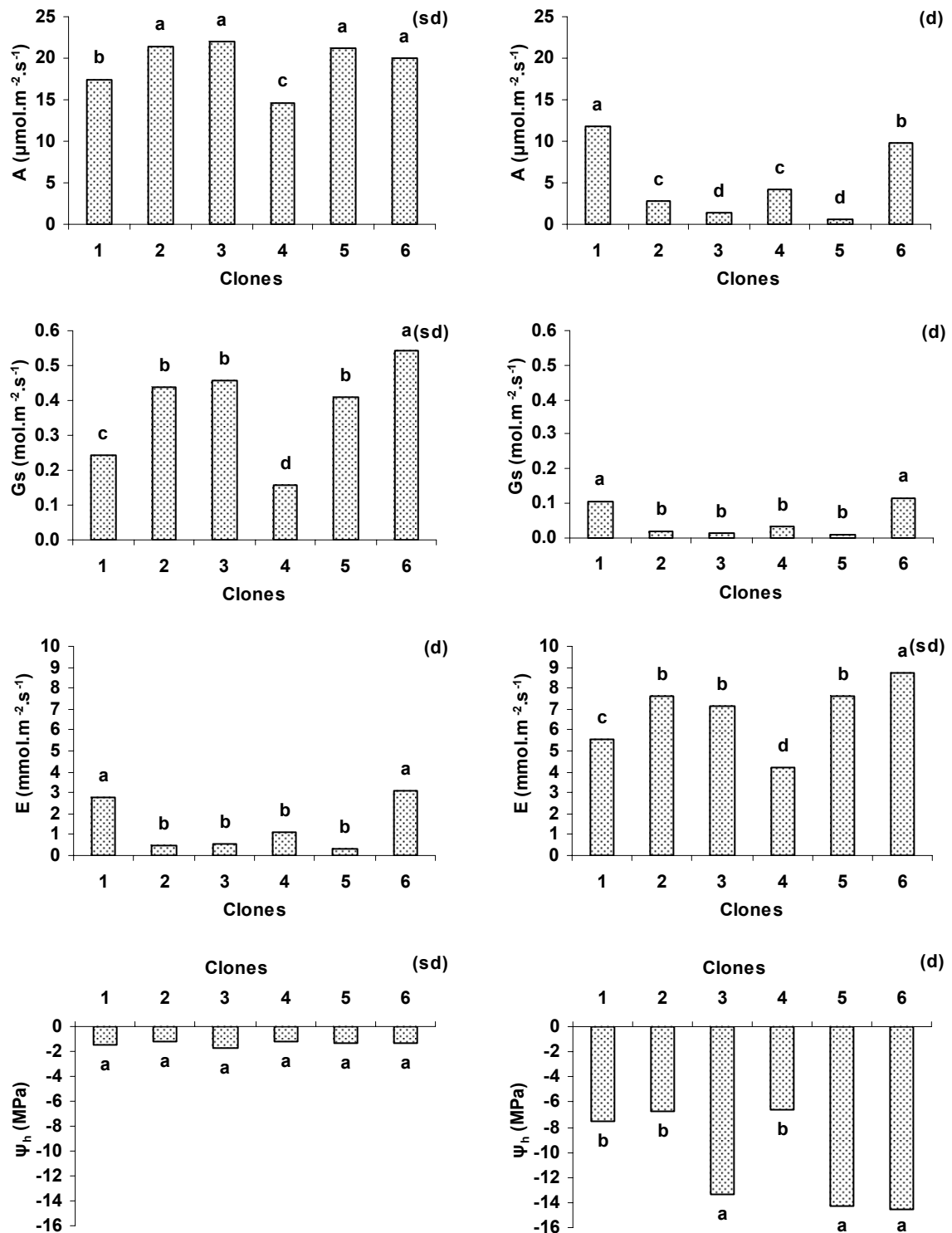


Figura 4 - Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E) realizado às 10:00 horas, e potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_h) de plantas de seis clones de eucalipto crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)-sem déficit, -(d) déficit.

No manejo hídrico sem déficit, a média do grupo que apresentou maior taxa fotossintética formados pelos clones 2, 3, 5, e 6 foi cerca de 18,1% maior em relação ao grupo formado pelo clone 1 e 31,4% maior em relação ao grupo formado pelo clone 4. No manejo de déficit, a diferença das taxas fotossintéticas entre os grupos foi maior. O grupo formado pelo clone 1 apresentou valores de fotossíntese cerca de 16,9, 70,5, e 92,2% maior em relação aos grupos formados pelos clones 6; 2 e 4; e por fim, o grupo formado pelos clones 3 e 5, respectivamente.

O grupo formado pelos clones 1 e 6 foi o que apresentou maior condutância estomática para o manejo hídrico de déficit, o que pode ter contribuído para as altas taxas fotossintéticas encontradas. O clone 6 formou o grupo, que atingiu o maior valor de condutância estomática, quando submetido ao manejo sem déficit. Contrariamente, o grupo formado pelos clones 2, 3, 4 e 5 foram os que apresentaram os menores valores de condutância estomática sob deficiência hídrica. A transpiração seguiu a mesma tendência da condutância, com resultados semelhantes entre os grupos de clones formados dentro dos respectivos manejos hídricos. Observa-se que grupo formado pelos clones 2, 3, 4 e 5 apresentou os menores valores de transpiração sob deficiência hídrica, enquanto que os clones 1 e 6 eram o que perdiam mais água na forma de vapor. No manejo sem déficit o clone 6 também alcançou os maiores valores de transpiração, sugerindo ser o clone com maior consumo de água entre os estudados. O clone 4 formou o grupo, que apresentou o menor valor de transpiração no manejo sem déficit, refletindo em um menor consumo de água.

É importante observar que o potencial hídrico foliar antemanhã dos clones mantidos próximo à capacidade de campo (sem déficit), não apresentou diferenças estatísticas, obtendo valores de potencial hídrico equivalentes (Figura 4). Fato que se deve destacar, é que mesmo, quando o status hídrico da plantas é similar nas folhas dos clones, encontrou-se diferença na fotossíntese, condutância estomática e transpiração. Podem-se atribuir essas diferenças nas trocas gasosas, o fato de ter sido utilizado diferentes genótipos, onde cada um responde de forma diferenciada às condições ambientais prevalentes.

No manejo com déficit, o grupo formado pelos clones 3, 5 e 6, apresentou os menores valores de potencial hídrico foliar no antemanhã. Isto significa que possuem menores teores de água em suas folhas, por sua vez, sendo os clones menos hidratados. Entre estes três clones, destacou-se o 6, que alcançou um dos maiores

valores de condutância estomática e fotossíntese, apesar de possuir baixo teor de água nas folhas. Enquanto que, o grupo formado pelos clones 1, 2 e 4 apresentou valores de potencial hídrico menos negativos, ou seja, plantas mais hidratadas, formando o grupo de clones do manejo de déficit com os maiores teores de água nas folhas. Apesar desses clones terem apresentado maiores teores de água nas folhas em condições adversas de estresse hídrico, suas taxas transpiratórias foram mais reduzidas, assim como a condutância estomática em comparação ao outro grupo de clones. Sugere-se, então, deduzir que o aparato fisiológico destes clones permita alcançar uma maior economia de água, favorecendo a planta suportar um período mais longo de déficit hídrico. Este mesmo grupo formado pelos clones 1, 2 e 4 no final do experimento apresentou maior produção de matéria seca total sob o manejo hídrico de déficit como pode ser verificado no capítulo 1. Observa-se, na figura 5, a relação do potencial hídrico foliar antemanhã dos clones de eucalipto com a variação da umidade no substrato, mostrando que quando mais úmido o substrato, maior foi a quantidade de água encontrada nas folhas dos clones de eucalipto.

Os clones mantidos sob deficiência hídrica nesta campanha estavam submetidos a um estresse hídrico bastante severo, onde registrava uma umidade média do solo em torno de 7%, bem abaixo do valor da umidade encontrada para o

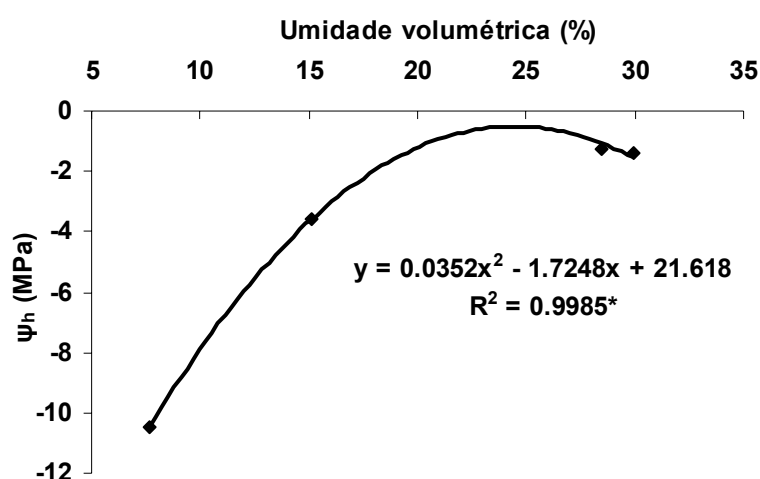


Figura 5 - Relação entre a umidade do substrato e o potencial hídrico foliar antemanhã, média das leituras realizadas a 30 cm de profundidade. Os valores de potencial hídrico foliar antemanhã correspondem a média geral de 4 leituras para todos os seis clones.
 (* significativo a 5%)

ponto de murcha permanente no substrato, o que levou a queda do potencial hídrico foliar. Nas plantas mantidas no nível de manejo hídrico sem déficit, apresentaram umidade média do solo em torno de 28%.

Na figura 6, estão apresentadas as diferenças dos dois níveis de manejo hídrico em cada clone para cada variável fisiológica estudada, às 10:00 horas para as trocas gasosas e às 04:30 para o potencial hídrico foliar antemanhã.

A taxa fotossintética de todos os clones no nível de manejo sem déficit diferiu estatisticamente dos clones mantidos sob deficiência hídrica. Isto significa dizer, que todas as plantas dos clones de eucalipto submetidas ao déficit tiveram suas taxas fotossintéticas reduzidas, quando comparadas com os clones submetidos ao manejo sem déficit. O corte da irrigação promoveu uma redução de 31, 87, 94, 71, 97, e 51 % nos clones 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados para condutância estomática, transpiração e potencial hídrico foliar antemanhã, evidenciando o efeito negativo do estresse hídrico sobre cada característica fisiológica de cada clone de eucalipto estudado.

Segundo Kozlowski & Pallardy (1996), a taxa fotossintética é muito sensível à disponibilidade de água, decrescendo tanto em solos secos quanto em solos encharcados. O déficit hídrico reduz a fotossíntese pelo fechamento dos estômatos, diminuindo a eficiência do processo de fixação de carbono, suprimindo a formação e expansão foliar, podendo induzir a queda das folhas.

É importante notar o efeito negativo do déficit hídrico sobre as taxas fotossintéticas dos clones estudados. A redução na taxa fotossintética influenciou diretamente o acúmulo de matéria seca total. Um exemplo é o clone 3, que apresentou uma redução de 94% na taxa fotossintética, enquanto sua matéria seca reduziu cerca de 77,5% em comparação às plantas mantidas sem déficit, como foi visto no capítulo 1.

Quando o potencial hídrico foliar é reduzido, a taxa fotossintética pode ser diminuída na mesma proporção. Segundo Kozlowski & Pallardy (1996), é difícil estabelecer um potencial hídrico foliar no qual a fotossíntese começa a decrescer porque esse valor varia com a espécie, genótipo, habitat, histórico da planta e as condições ambientais predominantes.

Na figura 7, estão apresentadas as taxas fotossintéticas dos dois níveis de manejo hídrico para cada clone de eucalipto, ao longo dos horários das medições realizadas durante de um dia. Nota-se que o déficit hídrico promoveu redução na

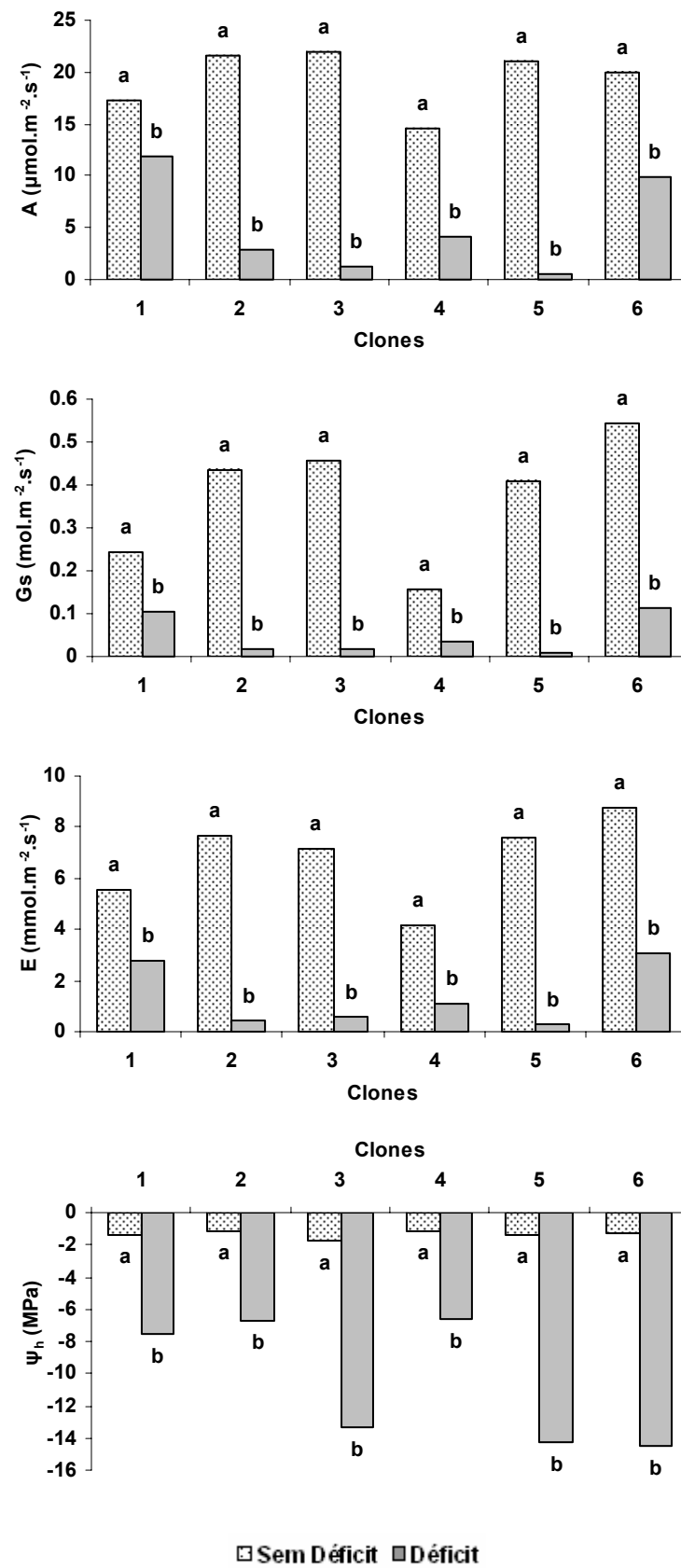


Figura 6 - Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E) realizada às 10:00 horas e potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_h) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

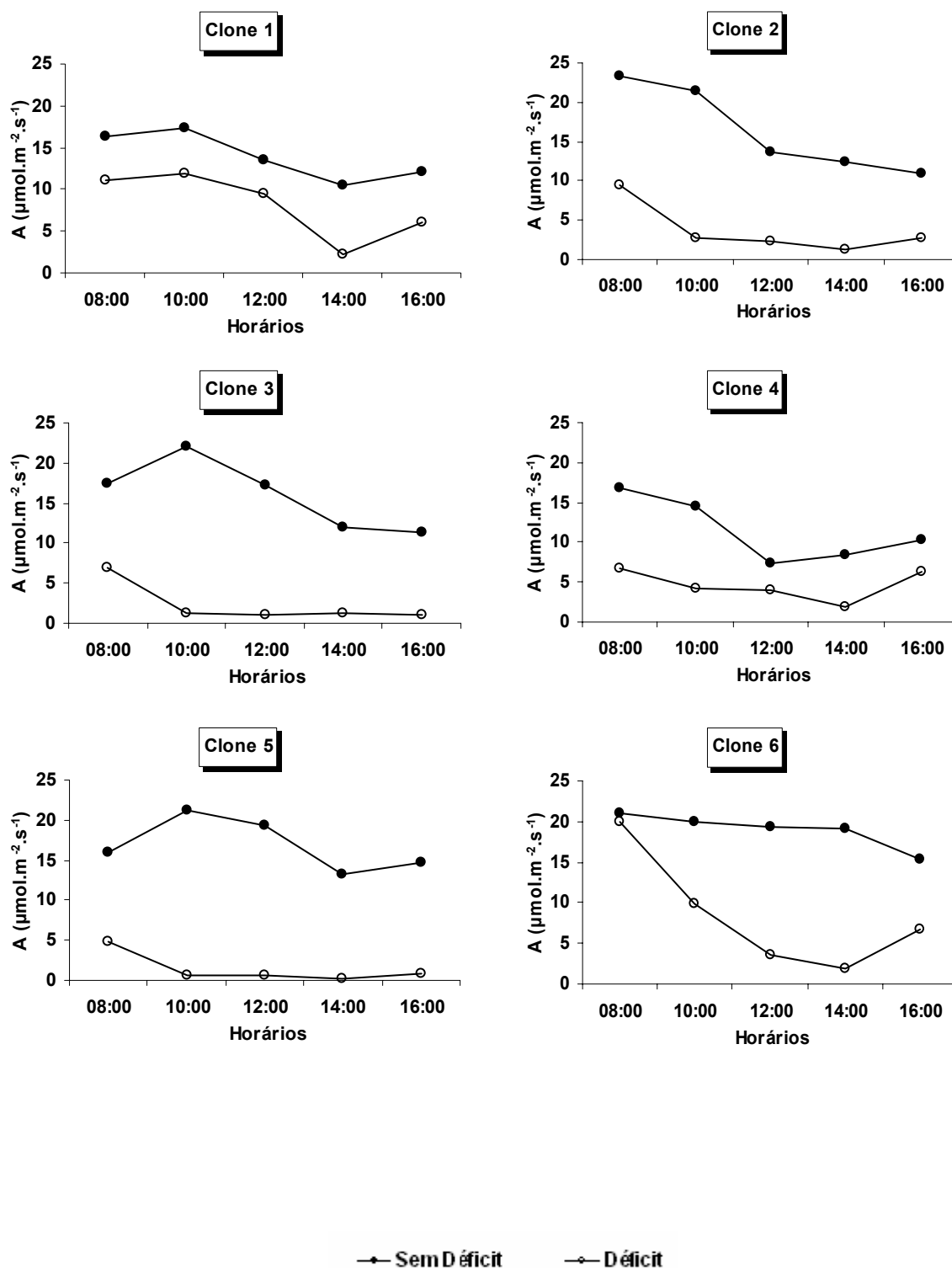


Figura 7 - Fotossíntese líquida (A) ao longo do dia 03 de agosto de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

fotossíntese líquida das plantas dos seis clones de eucalipto ao longo do dia, principalmente para os clones 3 e 5. Nestes clones, o déficit hídrico afetou drasticamente a assimilação do CO₂, promovendo queda na taxa fotossintética líquida, a partir das 10:00 horas da manhã.

No manejo hídrico de déficit, foram registradas taxas fotossintéticas extremamente baixas, atingindo valores próximos a zero, ou seja, com paralisação parcial da fotossíntese durante os horários mais estressantes do dia, com maior intensificação no período da tarde. Para os dois níveis de manejos hídricos o maior valor das taxas fotossintéticas foi encontrado no período da manhã nos horários das 8:00 e 10:00 horas, com magnitudes diferenciadas entre cada nível de manejo hídrico para cada clone.

Os clones 2, 3 e 5 foram os clones que apresentaram as maiores variações das taxas fotossintéticas entre os dois níveis de manejo hídrico ao longo dos horários durante o dia. Os clones 1 e 4 apresentaram menor diferença entre os dois manejos de irrigação. No nível de manejo sem déficit, o clone 2 foi o que apresentou o maior valor da taxa fotossintética logo às 8:00 horas da manhã com 23,42 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e o clone 4 a menor 7,33 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ às 12:00 horas. Para os clones sob déficit o maior valor foi encontrado para o 6 com 19,87 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ às 8:00 horas e o menor para o 5 com 0,20 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Vários autores registraram queda na fotossíntese durante o período de déficit hídrico em espécies florestais (Calbo & Moraes, 2000; Oliveira et al., 2002). Mielke (1997), detectou quedas nas taxas fotossintéticas de um plantio de clones *Eucalyptus grandis*, quando submetidos a déficit hídrico moderado, o qual esteve relacionada com a variação sazonal das taxas de precipitação pluviométrica.

A figura 8 apresenta os valores da condutância estomática de cada clone ao longo do dia nos dois manejos hídricos adotados. Nota-se que o déficit hídrico promoveu menores valores de condutância estomática para todos os clones, em relação aos mantidos com a umidade próxima a capacidade de campo.

As plantas submetidas ao manejo hídrico sem déficit apresentaram maior abertura estomática em todos os horários ao longo do dia em relação às plantas mantidas sob déficit. Esta diferença da condutância estomática entre os manejos hídricos, ocorreu, devido ao estresse hídrico severo imposto pelo déficit, a partir da baixa umidade encontrada no substrato, levando alguns clones ao fechamento parcial dos estômatos logo nas primeiras horas da manhã, fato este que pode ter

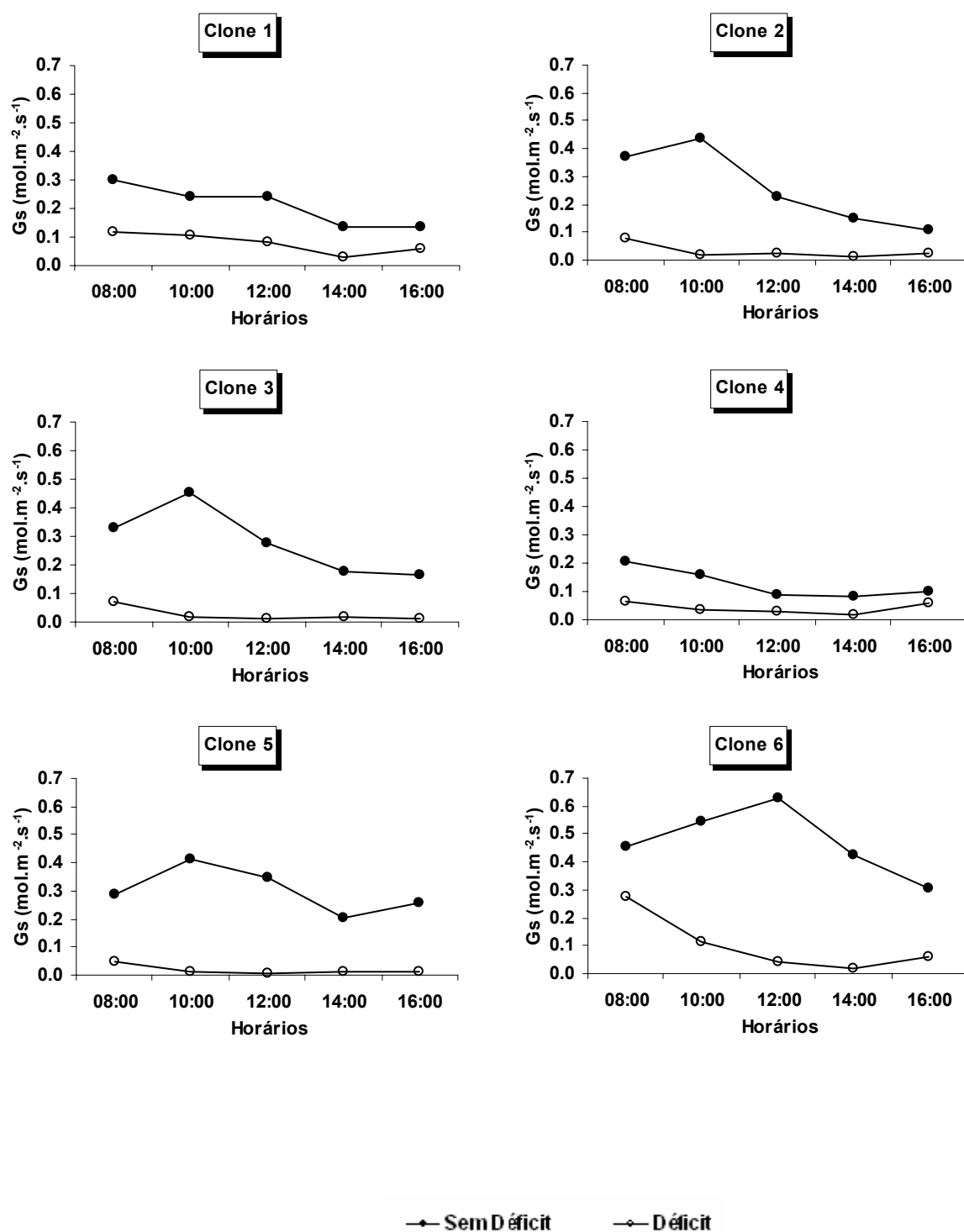


Figura 8 - Condutância estomática (Gs) ao longo do dia 03 de agosto de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

provocado quedas das taxas fotossintéticas dos clones. Decréscimos na umidade do solo parecem contribuir com algum sinal que é transmitido às folhas diminuindo a abertura estomática, mesmo se o potencial hídrico foliar for mantido constante (Kaiser, 1987).

À medida que o déficit hídrico é imposto, ocorre redução na condutância estomática. Nesse sentido a interação do déficit hídrico com outros fatores do ambiente, como altas intensidades luminosas, déficit de pressão de vapor e temperaturas elevadas e baixas umidades do ar podem, também, contribuir para o fechamento parcial dos estômatos, fato ocorrido durante a campanha. Os estômatos rapidamente respondem à mudança na umidade do ar, diminuindo assim, a fixação de carbono antes de ocorrer mudanças no status hídrico da folha (Kaiser 1987).

É oportuno observar que as variáveis fisiológicas estudadas acompanharam a demanda evaporativa da atmosfera. O aumento do déficit pressão de vapor, da radiação solar incidente, da temperatura do ar e o abaixamento da umidade relativa após o período da manhã, favoreceu a redução dos valores das trocas gasosas (Figura 9). A demanda evaporativa da atmosfera tem indicado ser um efeito altamente significativo sobre a condutância estomática, em plantas lenhosas (Baldochi et al., 1991), particularmente em condições saturantes de radiação solar (Dye & Olbrich, 1993). Uma vez que é através dos estômatos onde ocorre o influxo de CO_2 , necessário ao processo fotossintético e ao crescimento, e o efluxo de água, por meio da transpiração (Baldochi et al., 1991; Nobel, 1991; Larcher, 2004; Taiz & Zeiger, 2004).

Os menores valores de condutância estomática foram encontrados no período da tarde. Verifica-se, então, a diferença entre os menores valores obtidos pelos clones no horário estressante do dia (14:00 horas) entre os dois níveis de manejo hídrico. Como exemplo, temos o clone 5, atingindo valores de condutância estomática de $0.2030 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ no nível sem déficit e $0.0092 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ para o mesmo clone sob déficit. Estes valores mostram claramente que o eucalipto exerce controle estomático eficiente em condições de limitado suprimento hídrico de água no solo. Por outro lado, no período da manhã no horário das 8:00 e 10:00 horas ocorreram maior abertura estomática para os clones nos dois níveis de manejos hídricos, já que os efeitos das variáveis climáticas eram menos estressantes.

O clone 6 manteve seus estômatos mais abertos nos dois níveis de manejo, sugerindo maior consumo de água pelas plantas desse clone. Enquanto que o

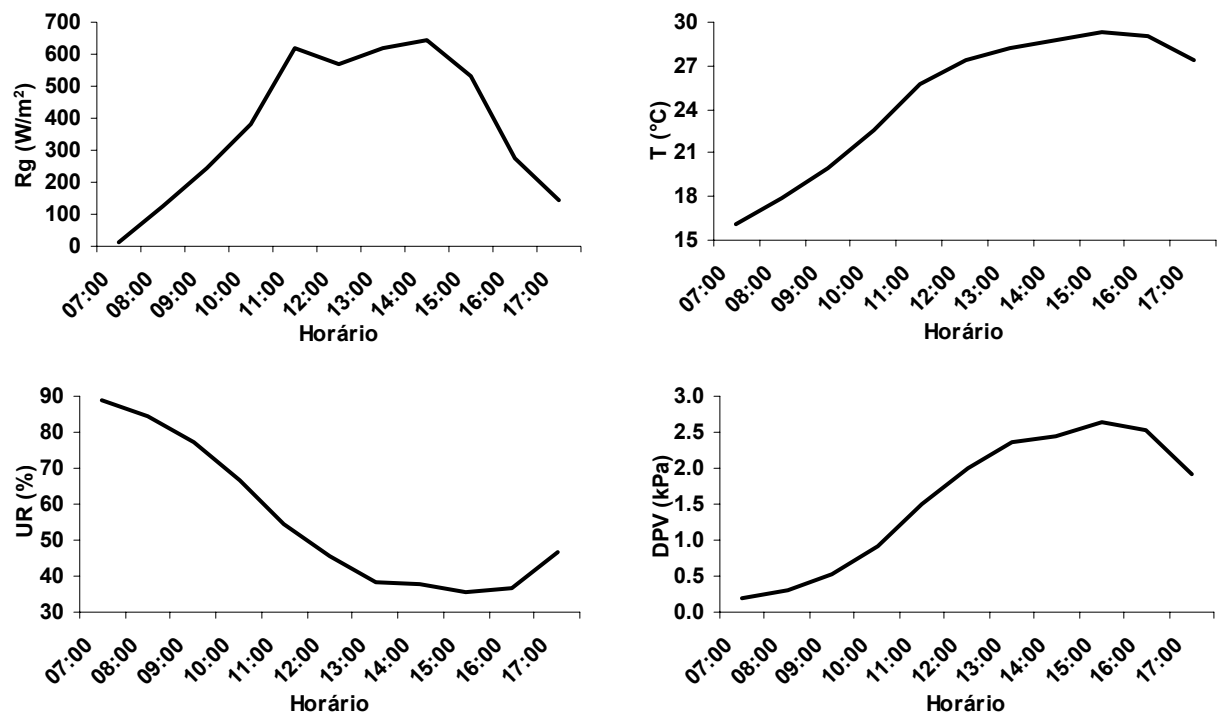


Figura 9 - Radiação solar incidente (R_g), temperatura média do ar (T), umidade relativa média (UR) e déficit pressão de vapor médio (DPV) ao longo do dia 03 de agosto.

clone 4, no manejo sem déficit apresentou menor abertura estomática, e foi o clone que apresentou menor variação dos valores de condutância estomática, ao longo do dia, entre os dois níveis manejos hídricos. Os clones 2, 3 e 5 tiveram a condutância estomática mais afetada pelo déficit.

Como aconteceu para a condutância estomática, o déficit hídrico contribuiu para os menores valores de transpiração nos clones. Percebe-se que ao longo do dia, a transpiração foliar apresentou comportamento similar ao da condutância estomática para os dois manejos hídricos e clones (Figura 10).

Os clones submetidos ao manejo hídrico sem déficit apresentaram maior transpiração, em relação aos clones submetidos ao déficit, já que se encontravam numa condição de ótima umidade no substrato, o que levou provavelmente, a maior abertura dos estômatos, dessa maneira, contribuindo para os maiores valores das taxas transpiratórias. Já os clones mantidos sob déficit hídrico, em função da baixa umidade encontrada no substrato, apresentaram fechamento parcial dos estômatos, levando, conseqüentemente, aos menores valores das taxas transpiratórias. A redução da transpiração em conseqüência do fechamento estomático é uma das primeiras respostas no sentido de reduzir o uso de água pelas plantas sob deficiência hídrica (Larcher, 2004; Taiz & Zeiger, 2004). O fechamento parcial dos estômatos das plantas submetidas à deficiência hídrica promove a diminuição da perda de água por transpiração (Scuhlze, 1986; Kozlowsky & Pallardy, 1996).

No manejo sem déficit, os seis clones apresentaram curso de transpiração semelhante ao longo do dia, elevando-se pela manhã no período das 10:00 e reduzindo a partir das 12:00 horas, enquanto que os clones submetidos ao déficit, o horário de maior transpiração foi encontrado às 8:00 horas, reduzindo a partir das 10:00 horas para a maioria dos clones. Os mesmos apresentaram diferenças dos valores de transpiração. O clone 6 apresentou maior transpiração no nível de manejo sem déficit e sob déficit em relação aos demais clones, sugerindo elevado consumo de água pelas plantas. O clone 4 mesmo sob manejo hídrico sem déficit (em condições hídricas de ótima umidade encontrada no substrato) apresentou reduzida transpiração, fato explicado pela menor abertura estomática encontrada para este clone, levando a planta a apresentar menor consumo hídrico, indicando a grande eficiência do aparato estomático no exercício do controle transpiracional. Esta menor abertura pode ter sido condicionada, pela maior sensibilidade desse clone às condições ambientais prevalecentes.

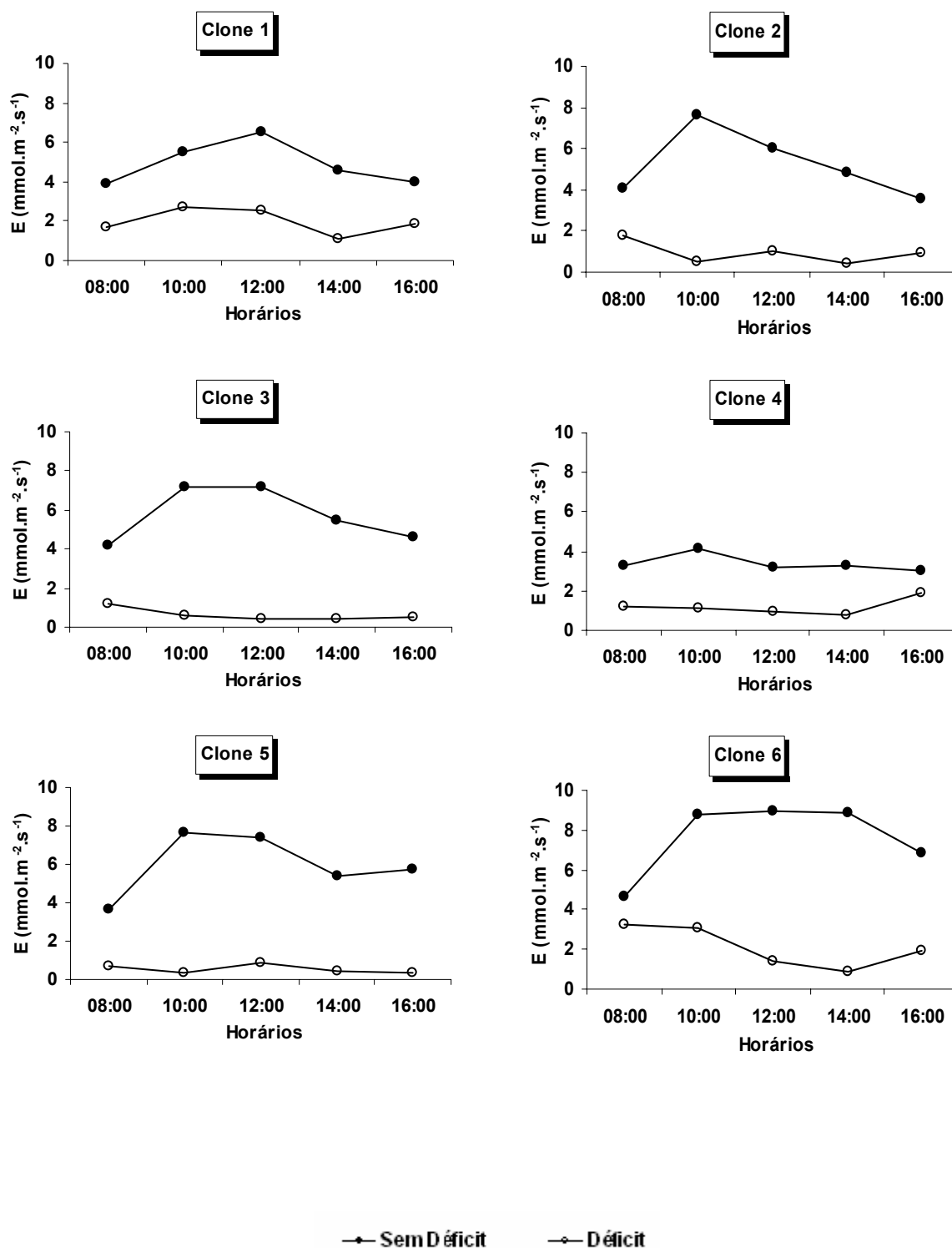


Figura 10 - Transpiração(E) ao longo do dia 03 de agosto de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

Observa-se, ainda, para os clones 2, 3 e 5 submetidos ao déficit hídrico, que a transpiração acompanhou a condutância estomática, apresentando os menores valores, podendo ser uma estratégia para evitar a rápida desidratação das plantas. A transpiração excessiva pode comprometer a disponibilidade de água para os processos vitais da planta, principalmente quando se trabalha em situações em que a quantidade de água disponível é reduzida.

O déficit hídrico também provocou redução dos valores de potencial hídrico foliar para todos os clones, em comparação aos valores encontrados para os clones mantidos sem déficit (Figura 11). Nas plantas submetidas ao manejo hídrico sem déficit, os clones mantiveram comportamento do potencial hídrico foliar semelhante nas medições realizadas durante os horários ao longo do dia.

Considerável variação do potencial hídrico foliar foi encontrada, nos dois níveis de manejos hídricos, durante os horários das medições realizadas ao longo do dia. A ocorrência desta variação durante o dia se deu, em função da alta demanda evaporativa da atmosfera encontrada nos horários mais quentes do dia (Figura 9).

Mielke (1997), observando o potencial hídrico foliar antemanhã e o potencial hídrico foliar ao meio dia de plantas adultas de *Eucalyptus grandis*, relatou que os valores acompanharam as variações observadas no teor de umidade do solo. Os valores mínimos observados, com base na média de dois níveis do dossel, superior (32 a 30 m de altura) e inferior (29 a 27 m de altura), foram respectivamente, -2,90 e -1,30 MPa no mês de agosto de 1996, período experimental onde foi verificado a maior escassez de chuva e o menor teor de umidade no solo. Os valores de potencial hídrico foliar ao meio dia foram sempre mais negativos do que os valores de antemanhã, o que se assemelha com os resultados obtidos no trabalho. Chaves et al. (2004) também observaram queda no potencial hídrico antemanhã ao final dos ciclos de seca em clones jovens de eucalipto sob deficiência hídrica, variando de -0,80 a -1,98 MPa, enquanto que, nas plantas plenamente irrigadas, o potencial hídrico foliar variou de -0,25 a -0,35 MPa.

Pode-se verificar que as plantas de eucalipto que apresentaram maior variação entre os dois níveis de manejos hídricos para o potencial hídrico foliar, ao longo dos horários durante o dia, foram os clones 3, 5 e 6.

Nos clones mantidos sob déficit, o valor mais alto de potencial hídrico foliar encontrado no antemanhã foi de -6.63 MPa, para o clone 4, e o mais baixo de -24.9 MPa, para o clone 5, ao meio dia.

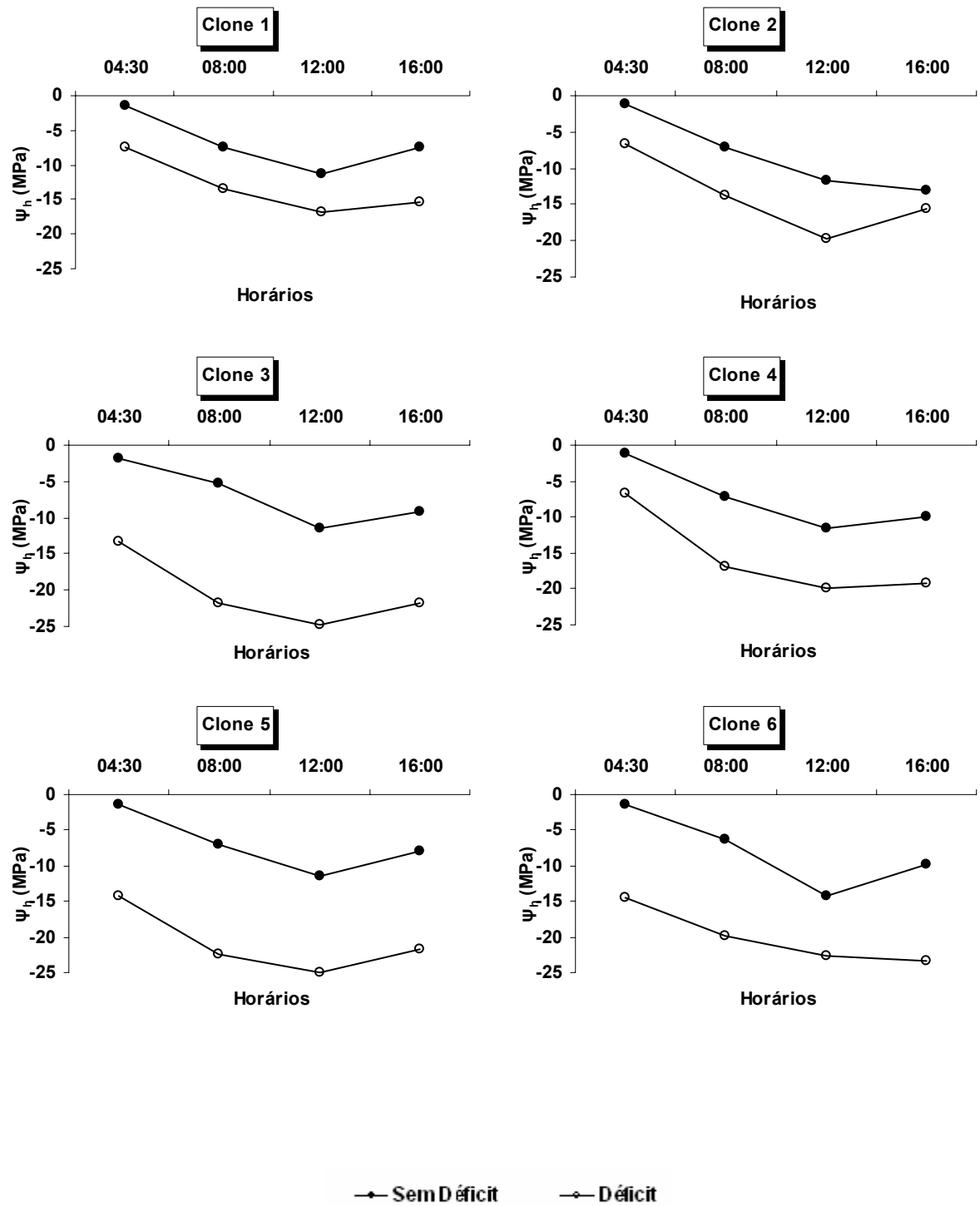


Figura 11 - Potencial hídrico (ψ_h) foliar antemanhã ao longo do dia 03 de agosto de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

3.2 Segunda Campanha de Campo - Trocas gasosas e potencial hídrico foliar sob três manejos hídrico

Durante a segunda campanha, é verificado um nível de manejo hídrico que não estava presente na primeira, que foi chamado de déficit 1 (d1), a fim de avaliar a recuperação das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar, com a retomada da irrigação por um período de 55 dias, após os clones terem passado por 45 dias de déficit hídrico.

Nesta época, a fotossíntese no manejo hídrico sem déficit não apresentou diferença estatística entre os clones, pertencendo todos ao mesmo grupo. Prevê-se, então, neste manejo, que os clones mantiveram suas taxas fotossintéticas similares durante a avaliação (Figura 12). O mesmo aconteceu para a condutância estomática, a transpiração foliar e o potencial hídrico foliar no antemanhã dos clones de eucalipto mantidos no manejo sem déficit (Figura 12 e 13). Uma possível explicação para a semelhança encontrada no teste de médias entre os clones, nas trocas gasosas estudadas, neste manejo hídrico, deve-se ao fato da radiação incidente no momento da leitura às 10 horas ser baixa, ao redor de 600 W/m^2 .

É essencial observar as diferenças entre as taxas fotossintéticas encontradas na primeira e segunda campanha. Esta diferença é justificada pela utilização de equipamentos diferentes durante a medição dessa característica. Na primeira campanha utilizou um IRGA, modelo Li-6400 da LICOR, com fonte luminosa fixa de $1500 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de intensidade de radiação fotossinteticamente ativa, enquanto que na segunda campanha, a medição foi realizada em outro Irga sem a utilização de fonte luminosa fixa, modelo LCA-4 da ADC, com incidência apenas da radiação solar natural.

Sob o manejo hídrico de déficit 2 para a fotossíntese, foram formados dois grupos de clones. O grupo formado pelos clones 1, 2, 4, 5 e 6, apresentou maior valor das taxas fotossintéticas. O clone 3 formou o grupo que apresentou menor fotossíntese, indicando menor eficiência na fixação do CO_2 atmosférico, o que refletiu no menor acúmulo de matéria seca total no final do experimento. Da mesma forma, resultados semelhantes foram encontrados para os mesmos grupos de clones para a condutância estomática e transpiração sob o manejo déficit 2, com o clone 3 apresentando os menores valores. Apesar de terem sido encontrados os menores valores de trocas gasosas para o clone 3, ele fez parte do grupo de clones com os valores mais altos de potencial hídrico foliar antemanhã,

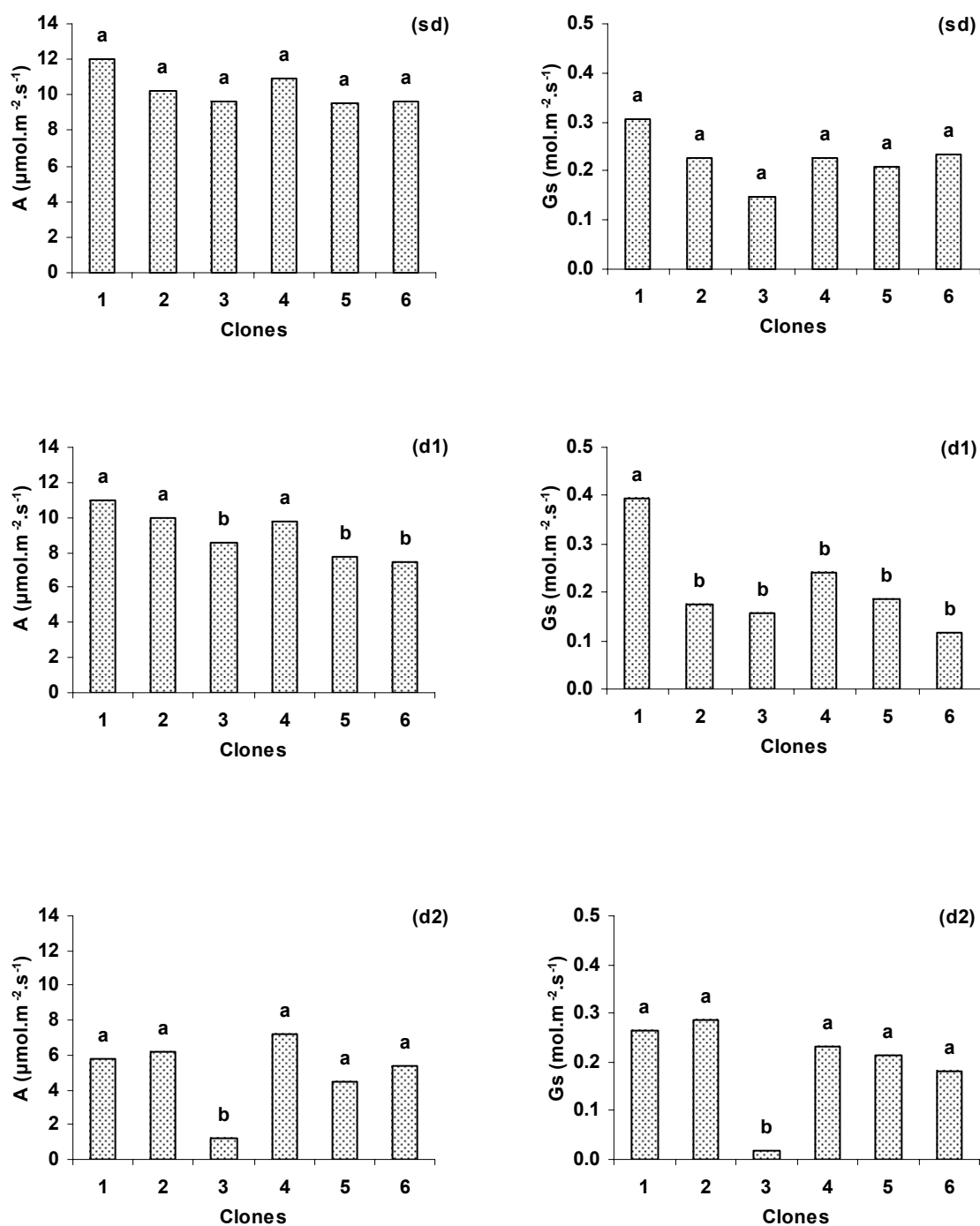


Figura 12 - Fotossíntese líquida (A) e condutância estomática (Gs) realizada às 10:00 horas, de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)- sem déficit, (d1)-déficit1, (d2)-déficit 2.

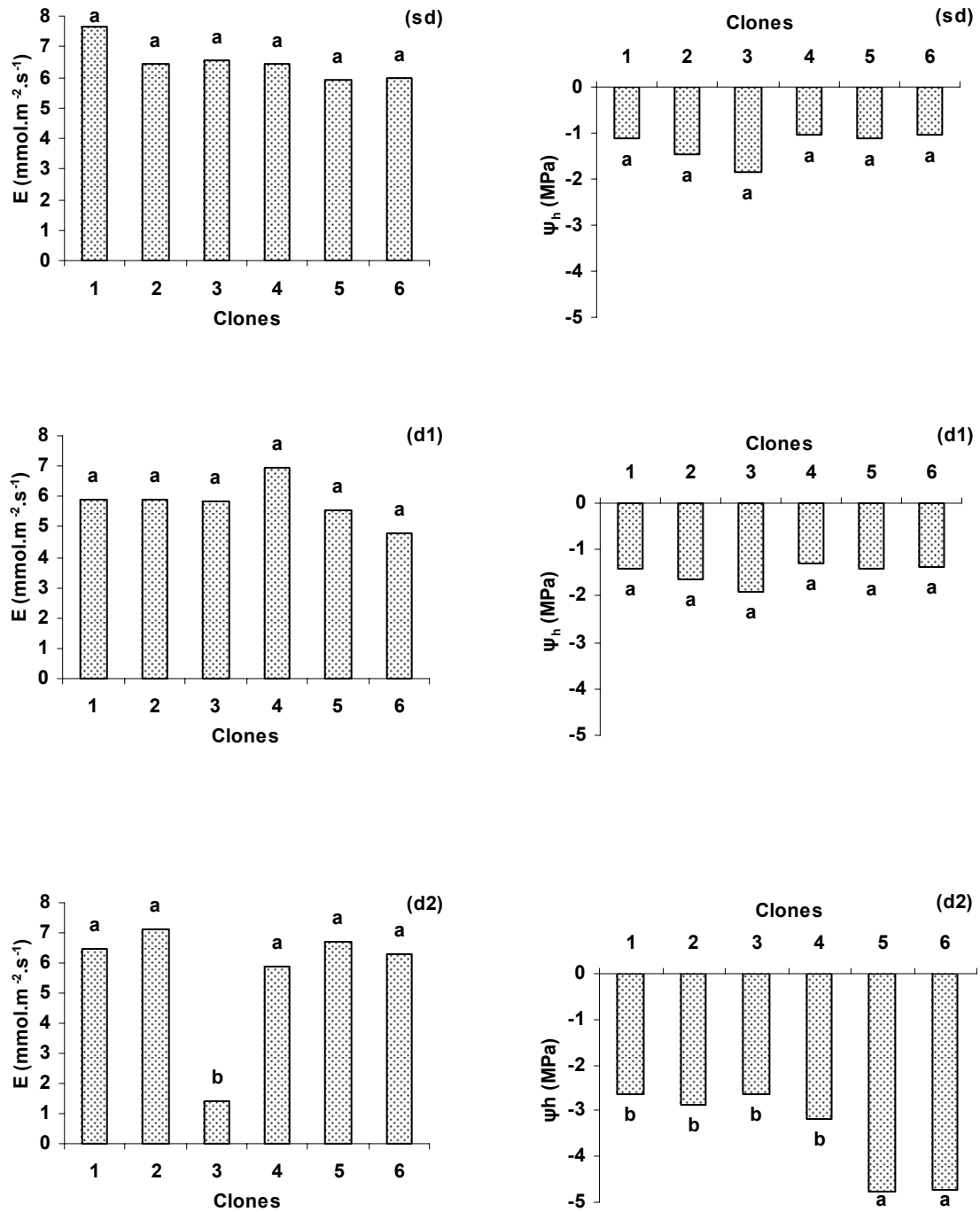


Figura 13 - Transpiração (E) realizada às 10:00 horas e potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_h), de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos, (sd)- sem déficit, (d1)-déficit1, (d2)-déficit 2.

formado pelos clones 1, 2, 3 e 4 sob manejo déficit 2, enquanto que o grupo formado pelos clones 5 e 6 registrou os valores mais baixos de potencial hídrico no antemanhã, apresentando menores teores de água nas folhas (Figura 13).

É oportuno observar a ocorrência de um período chuvoso no final do mês de setembro, próximo às medições realizadas na segunda campanha, que contribuiu para o molhamento da superfície foliar e um acréscimo na umidade do substrato, ocasionando um ligeiro aumento do potencial hídrico foliar antemanhã no nível de manejo hídrico déficit 2, se tomarmos como comparação os valores do potencial hídrico foliar antemanhã obtidos para os mesmos clones sob manejo de déficit na primeira campanha. Uma vez que, as partes aéreas das plantas estavam expostas às condições ambientais prevalecentes. Caso não ocorrido para as medições realizadas na primeira campanha, onde foi observado um período de escassez de chuva mais acentuado, contribuindo para menores valores de potencial hídrico foliar no manejo sob déficit, já que o substrato se encontrava mais seco. A umidade média do substrato na segunda campanha ficou em torno de 15,1%, um pouco acima da umidade encontrada para o ponto de murcha permanente.

No nível de manejo hídrico déficit 1, os clones 1, 2 e 4, não apresentaram diferença estatística entre si, observada no teste de médias Scott-Knott, formando o grupo que apresentou a maior taxa fotossintética (Figura 12). Neste grupo, os clones 1 e 2 foram os que tiveram maior acúmulo de matéria seca total no final do experimento após a retomada da irrigação, depois de terem passado por 45 dias de déficit. Enquanto que os clones 3, 5 e 6 pertencem ao grupo de clones que apresentou o menor valor das taxas fotossintéticas, correspondendo ao grupo de clones que tiveram menor acúmulo de matéria seca total após a retomada da irrigação. O grupo formado pelo clone 1 foi o que apresentou maior abertura estomática após a retomada da irrigação. Enquanto que para a transpiração e potencial hídrico foliar não houve diferença estatística entre os clones no manejo de déficit 1, sendo todos pertencentes ao mesmo grupo.

Estudando os efeitos dos três níveis de manejos hídricos de cada variável fisiológica sobre cada clone no teste Tukey a 5% de probabilidade, observamos que, com a retomada da irrigação, após o período de déficit hídrico, foi suficiente para que todos os clones recuperassem sua capacidade fotossintética, não mais existindo diferenças entre as plantas do nível de manejo hídrico sem déficit (Figura 14). Stoneman et al. (1994), verificou que cinco dias após a retomada da irrigação,

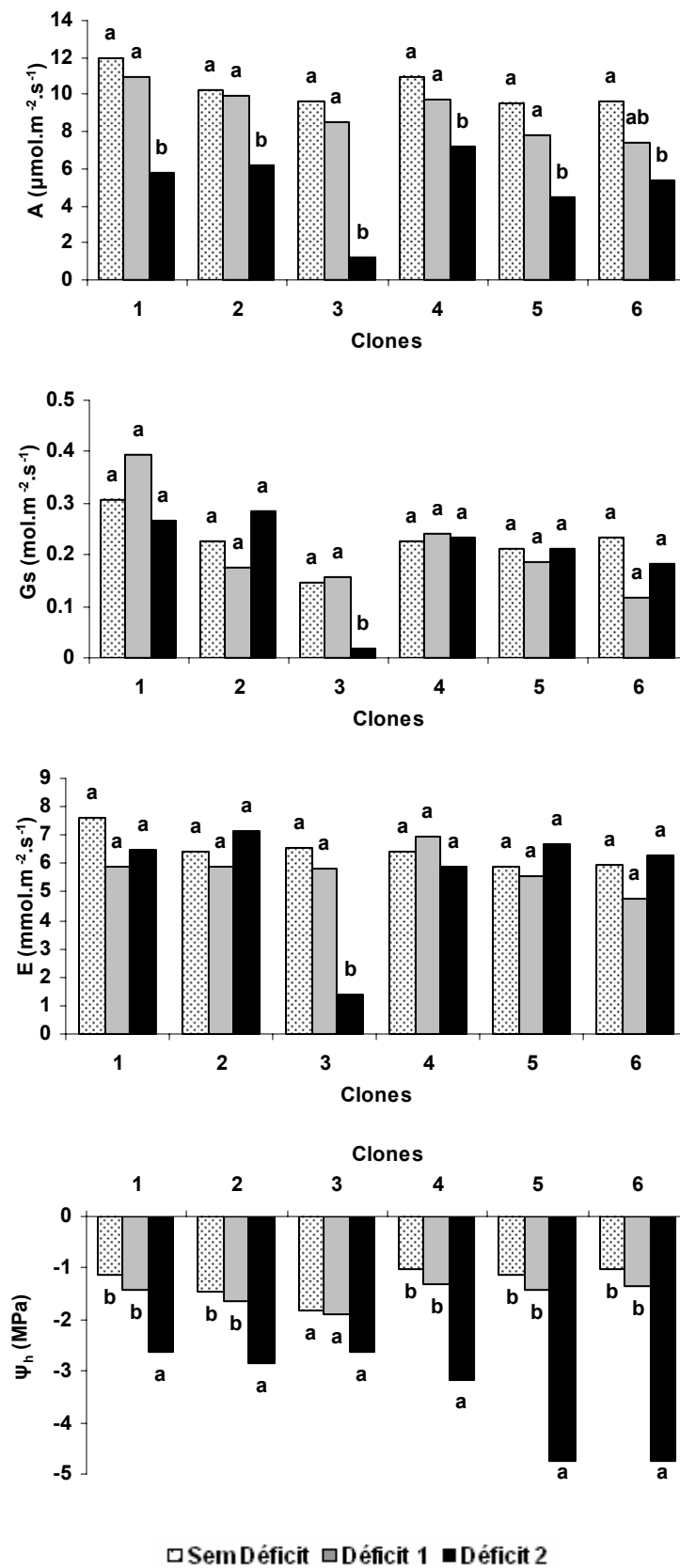


Figura 14 - Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E) realizada às 10:00 horas e potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_h) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

plantas de *Eucalyptus marginata* recuperaram sua capacidade fotossintética, não existindo diferenças entre plantas irrigadas e sob déficit. Essa recuperação da fotossíntese após a retomada da irrigação no manejo de déficit 1 contribuiu de forma significativa para incrementos no acúmulo de matéria seca total da grande maioria dos clones, como discutido no capítulo 1.

Observa-se, ainda, que o déficit hídrico 2 promoveu queda nas taxas fotossintéticas de cada clone, observada pela diferença encontrada entre as plantas mantidas no manejo hídrico sem déficit. Em condições de seca, a fotossíntese normalmente diminui, e isso pode ser devido ao fechamento parcial dos estômatos e, também, pela interferência no processo fotossintético (Reid et al., 1991). Osmond et al. (1980) propuseram que a seleção de plantas tolerantes ao déficit hídrico deve buscar materiais genéticos que mantenham a atividade fotossintética alta, com baixa condutância estomática, para reduzir as perdas de água por transpiração.

Para a condutância estomática e transpiração foram encontrados resultados similares no teste de média Tukey entre os níveis de manejo hídrico de cada clone (Figura 14).

Com exceção do clone 3, não foi encontrada diferença estatística entre os três níveis de manejos hídricos adotados para a condutância estomática. Esperava-se encontrar diferença entre os níveis sem déficit e déficit 2. Como já foi dito, isto pode ser explicado, pela ocorrência de chuvas próximas aos dias das medições, favorecendo uma maior abertura estomática das plantas mantidas sob déficit 2. O incremento de água na folha e no solo pode favorecer a abertura dos estômatos. Segundo Bengton et al. (1977), a condutância estomática é recuperada apenas quando a concentração de ácido abscísico diminui e o tempo gasto para esta recuperação varia com o grau de estresse e com a espécie.

Para transpiração, a diferença esperada entre os níveis sem déficit e déficit 2, também não foi encontrada, provavelmente, em razão de uma maior disponibilidade de água encontrada no substrato no manejo déficit 2, em função da ocorrência das chuvas. Aliado a essa situação, a elevada perda em área foliar provocada pelo déficit hídrico reduziu a superfície transpiracional, e conseqüentemente, manteve o substrato úmido por um período maior de tempo, o que pode ter ocasionando a semelhança das taxas transpiratórias entre o nível de manejo hídrico sem déficit e déficit 2 para a maioria dos clones. Segundo Taiz & Zeiger (2004), algumas espécies podem reduzir sua superfície transpiracional

através da abscisão foliar, de modo a reduzir a perda excessiva de água pelas plantas.

O potencial hídrico foliar no manejo hídrico déficit 2 para todos os clones, apresentou diferença estatística em relação aos outros manejos adotados, alcançando os menores valores, com exceção do clone 3, onde os três manejos adotados não diferiram estatisticamente (Figura 14). Este abaixamento do potencial hídrico foliar pode ter sido a principal causa da redução em área foliar das plantas submetidas ao déficit 2, em razão da síntese de etileno. Percebe-se, também, que as plantas anteriormente mantidas sob déficit 1 recuperaram sua turgescência, não diferindo das plantas mantidas sem déficit. Segundo Pugnaire et al. (1994), o conteúdo hídrico da planta é resultado do balanço das taxas de absorção pelas raízes e perda de água por transpiração.

A figura 15 mostra as taxas fotossintéticas encontradas, para cada clone de eucalipto, nos três níveis de manejo hídrico adotados, ao longo dos horários das medições realizadas durante o dia. Nota-se que, sob o nível de manejo déficit 2, todos os clones apresentaram as menores taxas fotossintéticas. Verifica-se também, que os manejos sem déficit e déficit 1 apresentaram variação da fotossíntese semelhante ao longo de todo o dia, com pequeno acréscimo nos valores obtidos pelas plantas mantidas irrigadas (sem déficit) durante os horários do dia. Observa-se no clone 6 a maior variação das taxas fotossintéticas durante os horários ao longo do dia entre os níveis de manejo sem déficit e déficit 1.

O valor de fotossíntese mais alto encontrado foi de $12,02 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ verificado para o clone 1, às 10:00 horas, sob manejo sem déficit, enquanto para o clone 3, no mesmo horário, foi observado a menor taxa, com $1,19 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ encontrado no manejo de déficit 2.

Durante esta campanha ocorreram alternâncias entre os maiores valores obtidos para a condutância estomática entre os três níveis de manejo hídrico nos horários das medições, realizado ao longo do dia, para a maioria dos clones (Figura 16).

Esperava-se, como já foi dito, que no manejo de déficit 2 fossem encontrados os menores valores de condutância estomática. Fato não ocorrido, em função de um período chuvoso dias antes da realização da campanha. Apesar disso, o clone 3 foi o que apresentou, sob déficit 2, a menor abertura estomática ao longo de todo o dia.

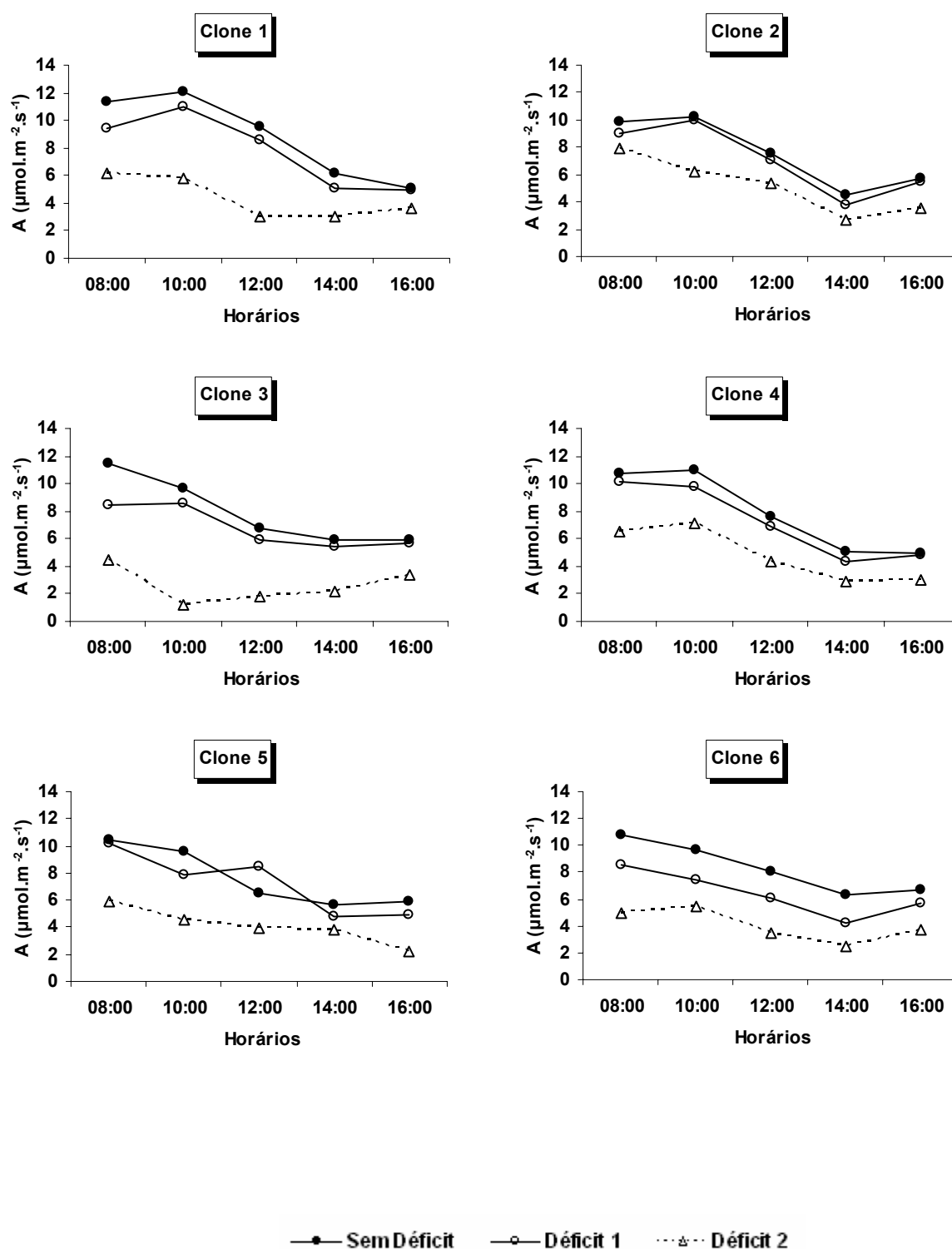


Figura 15 - Fotossíntese líquida (A) ao longo do dia 12 de outubro de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

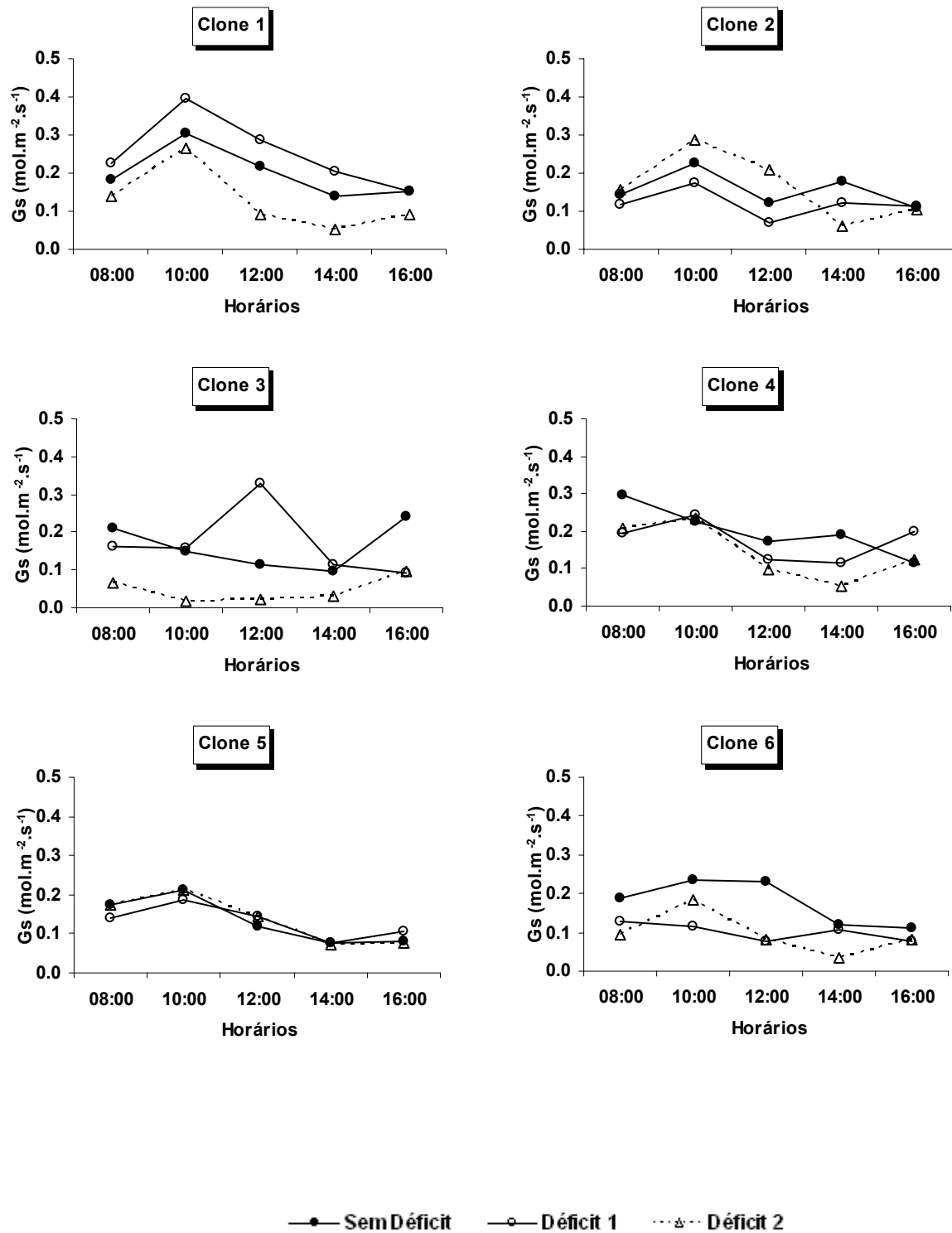


Figura 16 - Condutância estomática (G_s) ao longo do dia 12 de outubro de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

Como aconteceu para a avaliação do comportamento da condutância estomática, o resultado da transpiração também foi prejudicada (Figura 17). Ocorrendo alternâncias entre os maiores valores obtidos para a transpiração entre os três níveis de manejo hídrico nos horários das medições, realizado ao longo do dia, para a maioria dos clones. O clone 3 foi o único que apresentou menores valores das taxas transpiratórias sob manejo déficit 2, como esperado.

Na figura 18, observa-se o comportamento do potencial hídrico foliar ao longo das medições realizadas durante o dia entre os três manejos hídricos para cada clone. Observa-se que, sob o manejo de déficit 2, todos os clones apresentaram menores valores de potencial hídrico foliar ao longo do dia. A ocorrência de chuvas próximos aos dias da campanha não foi suficiente para que pudesse contribuir no aumento do potencial hídrico foliar do manejo hídrico de déficit 2, capaz de alcançar valores similares aos encontrados no nível de manejo sem déficit e déficit 1. Mas foi suficiente para que os valores de condutância estomática e transpiração, da maioria dos clones submetidos ao déficit 2, alcançassem os valores apresentados nos clones sob o manejo sem déficit e déficit 1.

Na figura 19, é apresentada a condição climática ocorrida durante a segunda campanha. Observe que a radiação solar incidente, a temperatura do ar e o déficit de pressão de vapor foram superiores as encontradas na primeira campanha. A umidade relativa foi mais baixa, contribuindo, também, para a alta demanda evaporativa da atmosfera.

Para todos os clones, há ocorrência de variação das trocas gasosas e no potencial hídrico foliar, ao longo do dia, para os três níveis de manejo hídrico. O aumento da demanda evaporativa da atmosfera, principalmente no período da tarde onde se intensificaram os valores obtidos para as variáveis microclimáticas medidas, contribui para os menores valores das trocas gasosas encontrados nos seis clones.

Tendo em vista que praticamente todos os aspectos do crescimento são afetados pela temperatura e pela falta de água (Kramer & Boyer, 1995), reduzindo o acúmulo de matéria seca, o efeito desses estresses ambientais sobre a produtividade é enorme. Sabe-se, porém, que existe uma variabilidade de adaptações ao déficit hídrico e às altas temperaturas entre espécies, e dentro de uma espécie, entre variedades. Portanto, deve-se avaliar a adaptação de cada material genético para sua recomendação a áreas com disponibilidade diferenciada de água no solo.

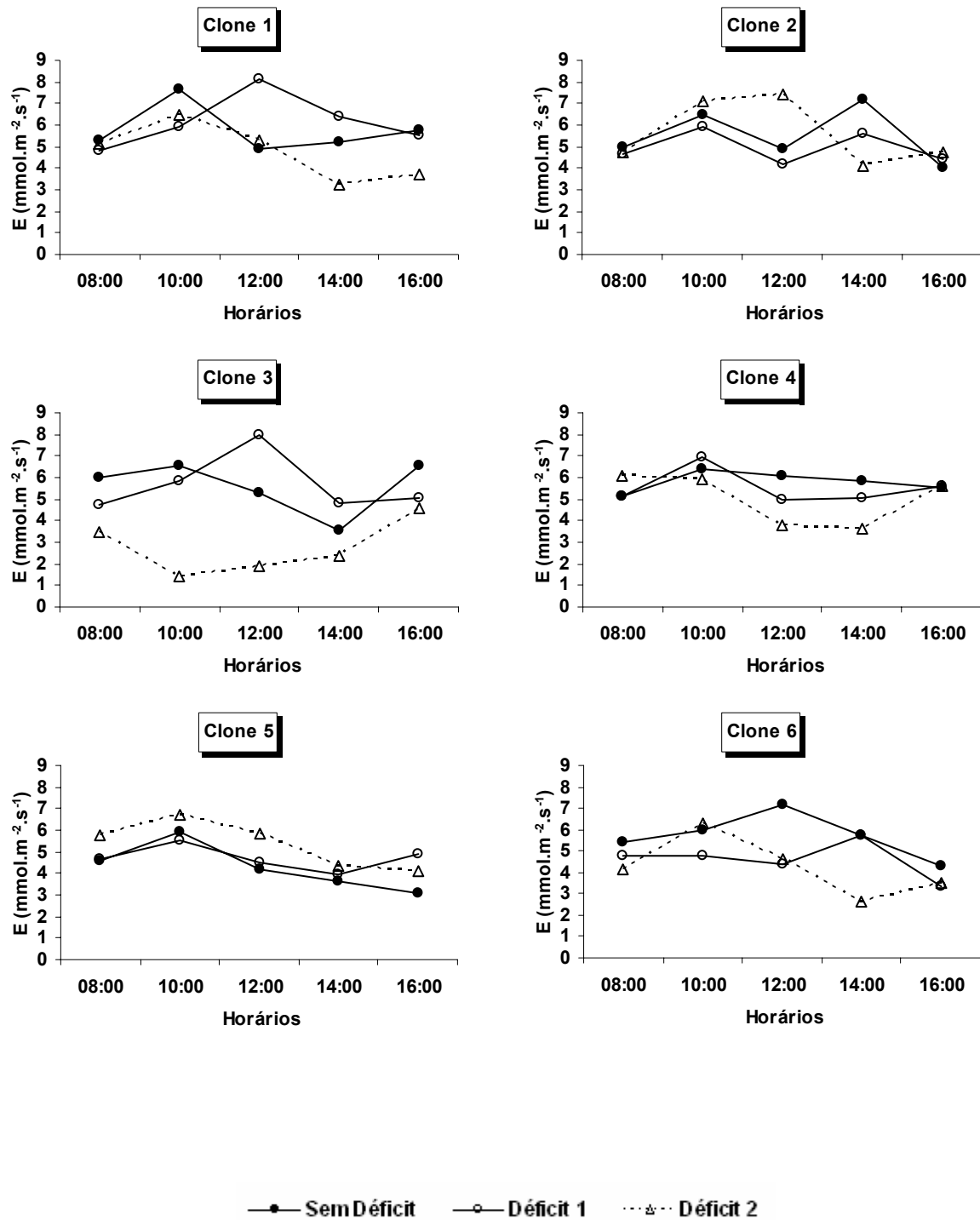


Figura 17 - Transpiração (E) ao longo do dia 12 de outubro de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

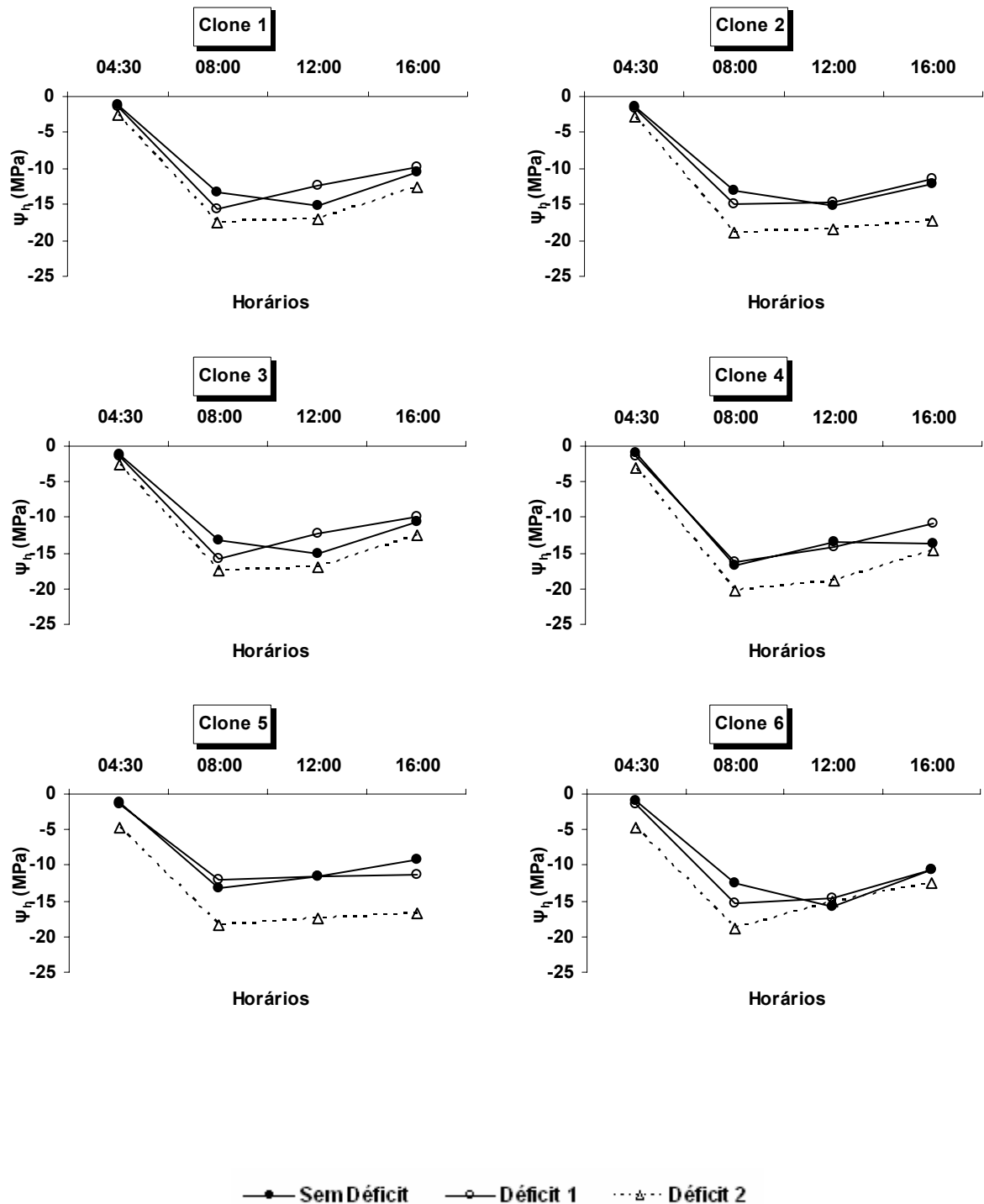


Figura 18 - Potencial hídrico foliar (ψ_h) ao longo do dia 12 de outubro de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

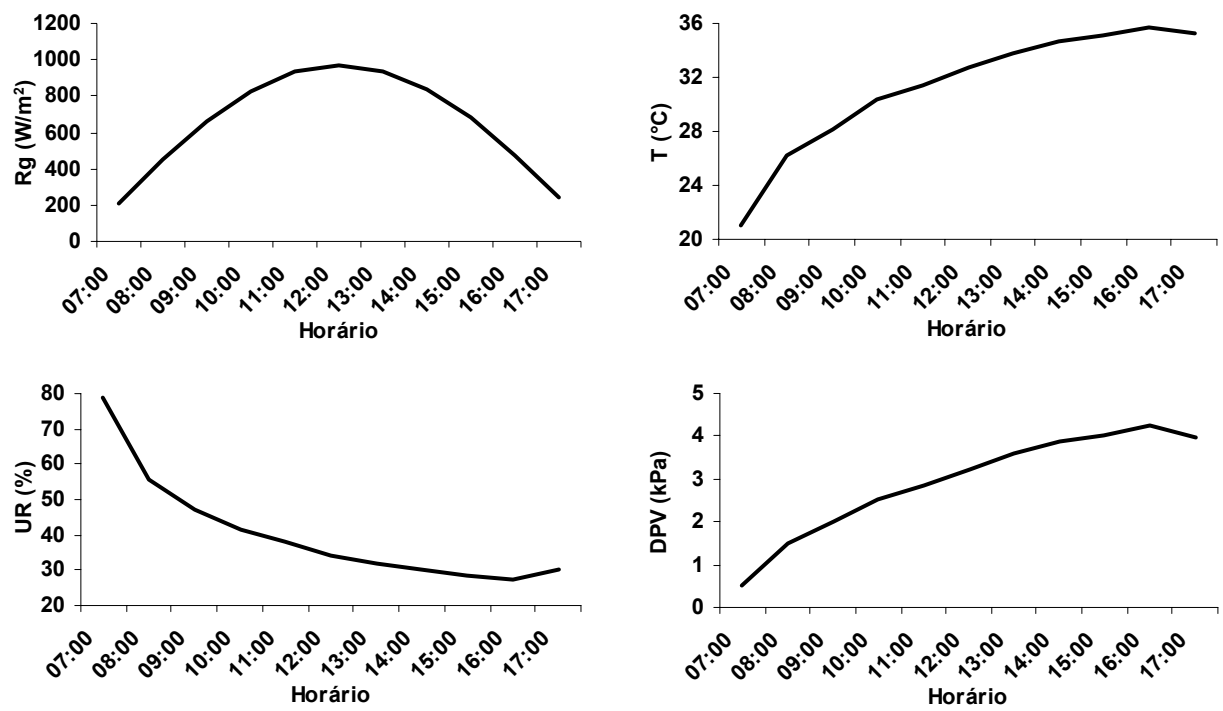


Figura 19 - Radiação solar incidente (R_g), temperatura média do ar (T), umidade relativa média (UR) e déficit pressão de vapor médio (DPV) ao longo do dia 12 de outubro.

4. CONCLUSÕES

Os clones estudados apresentaram diferentes respostas no comportamento das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar aos ambientes com diferenciada disponibilidade de água no substrato.

Os clones 1, 2 e 4 apresentaram os valores mais altos de potencial hídrico foliar, nas plantas submetidas ao déficit hídrico, ao longo das duas campanhas realizadas, mostrando obter mecanismos eficientes no controle de perda de água, já que apresentaram as menores taxas transpiratórias e menores valores de condutância estomática.

O déficit hídrico promoveu a redução dos valores da fotossíntese, condutância estomática, transpiração de todos os clones. Devido à ocorrência de chuvas próximo aos dias da avaliação, realizada durante a segunda campanha as características fisiológicas das trocas gasosas, principalmente a condutância estomática e transpiração foliar foram prejudicadas.

O clone 3 apresentou menores valores de fotossíntese, condutância estomática e transpiração quando submetido ao déficit hídrico nas duas campanhas realizadas, enquanto que o clone 5, durante a primeira campanha sob déficit hídrico, apresentou os menores valores das taxas fotossintéticas, não mantendo a mesma resposta na segunda campanha, possivelmente em virtude de chuvas ocorridas próximas aos dias das medições.

O clone 6 apresentou maior transpiração no nível de manejo sem déficit e sob déficit em relação aos demais clones, sugerindo elevado consumo de água pelas plantas.

Após a retomada da irrigação por 55 dias no tratamento déficit 1, todos os

clones recuperaram suas taxas fotossintéticas similares às registradas pelos clones mantidos no manejo sem déficit.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALDOCHI, D.D.; LUXMOORE, R.J.; HATFIELD, J.L. Discerning the Forest from the trees: an essay on scaling canopy stomatal conductance. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.54, p.197-226, 1991.

BENGTON, C.; FALK, S.; LARSSON, S. The after effect of water stress on transpiration rate change in abscisic acid content of young what plants. **Physiologia Plantarum**, v. 41, p.149-154, 1977.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611p.

CALBO, M.E.R.; MORAES, J.A.P.V. Efeitos da deficiência hídrica em plantas de *Euterpe oleracea* (açaí). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.23, n.3, p.225-230, 2000.

CHAVES, J.H.; REIS, G.G.; R, M.G.F. *et al.* Early selection of eucalypt clones to be planted in environments with varying soil water availability: water relations of plants in small size plastic tubes. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p.333-341, 2004.

CENTURION, J.F.; ANDREOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.701-709, 2000.

DYE, P.J.; OLBRICH, B.W. Estimating transpiration from 6-year-old *Eucalyptus grandis* trees: development of a canopy conductance model and comparison with independent sap flux measurements. **Plant Cell Environ**, v.16, p. 45-53, 1993.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GONÇALVES, M.R. **Crescimento, acúmulo de nutrientes e temperatura da copa de cinco espécies de *Eucalyptus* spp. Sob dois regimes hídricos**. Viçosa : UFV. 1992. 84f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

HINCKLEY, T.M., BRAATNE, J.N. Stomata. In: WILKINSON, R.E (Ed.). **Plant environment interactions**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.323-355.

MIELKE, M.S. Regulação fisiológica e ambiental das trocas gasosas num plantio clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. Viçosa: UFV 1997. 92f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

OLIVEIRA, A.J.; BOVI, M.L.A.; MACHADO, E.C.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J.D. Fotossíntese, condutância e Transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.59-63. 2002.

KAISER, W.M. Effects of water déficit on photosynthetic capacity. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.71, p.142-149, 1987.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495p.

KOSLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. **Physiology of woody plants**, 2.ed. San Diego, 1996, 411p.

LANE, P. N. J.; MORRIS J.; NINGNAN. Z.; GUANGYI, Z.; GUOYI, Z.; DAPING, X. Water balance of tropical eucalypt plantations in south-eastern China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.124, p.253-267, 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 531p. 2004.

LEUNING, R.; CLEUGH, H.A.; ZEGELIN, S.J.; HUGHES, D. Carbon and water over a temperate *Eucalyptus* forest and a tropical wet/dry savanna in Australia: measurements and comparison with modis remote sensing estimates. **Agricultural and Forest Meteorology**. Disponível em: <www.publish.csiro.au/?act=view_file&file_id=BT04147.pdf>. Acesso em: 12 Feb. 2005.

LI, C.; BERNINGER, F.; KOSKELA, J.; SONNINEN, E. Drought responses of *Eucalyptus microtheca* provenances depend on seasonality of rainfall in their place of origin. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.27, n.3, p.231-238, 2000.

NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego: Academic press, 1991. 635p.

OSMOND, C.B.; BJÖCKMAM, O.; ANDERSON, J. Water movement and plant response to water stress. **Ecological Studies**. Berlin, v.36, p. 90 – 251, 1980.

PEREIRA, J.S.; TENHUNEN, J.D.; LANGE, O.L et al. Seasonal and diurnal patterns in leaf gas Exchange of *Eucalyptus globules* trees growing in Portugal. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.16, p.177-184, 1986.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: EDUR, 1998, 159p.

PUGNAIRE, F.I.; ENDOLZ, L. S.; PARDOS, J. Constrains by water stress on plant growth. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop stress**. New York: Maecer Dekker Inc., 1994. p. 247 - 260.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de. Ciência do Solo**, v.12, p. 211-216, 1988.

ROBERTS, J.M.; ROSIER, P.T.W.; SRINIVASA MURTHY, K.V. Physiological studies in young eucalypts stands in Southern India and their use in estimating forest transpiration. In CALDER, I.R.; HALL, R.L.; ADLARD, P.G (Ed.). **Growth and water use of forest plantations**. Chichester: John Wiley & Sons, 1992. p. 226-243.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R.A. Seja doutor de seu eucalipto. **Arquivo do Agrônomo**. São Paulo. Potafos, n.12, p.1-32, 2001.

SCHULZE, E.D.; TURNER, N.C.; GOLLAN; SHACKEL, K.A. Stomatal responses to air humidity and to soil drought. In: ZEIGER.E.; FARQUHAH,G.; COWAN, I (Ed.). **Stomatal function**. Stanford: Stanford University Perss, 1987. p. 311-321.

SHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Cambridge, v.148, 1965. p.339-346.

SOUSA, M. B. A.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, L. O.; BUFON, V. N.; BONOMO, R. Avaliação de irrigação em propriedades de café conilon no norte do Espírito Santo. In: **Irrigação do cafeeiro: Informações técnicas e coletâneas de trabalhos**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais:UFV; DEA, 2003.260p.

STONEMAN, G.L.; TURNER, N.C.; DELL,B. Leaf growth, photosynthesis and tissue water relations of greenhouse-grown *Eucalyptus marginata* seedlings in response to water deficits. **Tree Physiology**, Victoria, v.14,n.6, p.633-646, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 2004. 719p.

VANGENUCHTEN, M.T. A closed-form for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.41, p.892-898,1980.

V. CONCLUSÕES GERAIS

Os clones estudados apresentaram diferentes respostas morfológicas e fisiológicas aos ambientes com diferenciada disponibilidade de água no substrato.

O grupo formado pelos clones 1, 2 e 4 foi o mais produtivo em relação ao acúmulo de matéria seca total nos manejos hídricos sem déficit e déficit 2. Para os mesmos manejos hídricos, o grupo formado pelo clone 3 apresentou o menor acúmulo de matéria seca total. Enquanto que, após a retomada de irrigação no manejo déficit 1 os clones 1 e 2 formaram o grupo mais produtivo, apresentando maior acúmulo de matéria seca.

A haste e ramos foi a componente que mais contribuiu para a alta produção de matéria seca, representando 41,1% da matéria seca total para o clone 1 e 44,4% para o clone 2 no manejo hídrico sem déficit. A maior redução na matéria seca das folhas encontrada entre os manejos sem déficit e déficit 2 foi observada para o clone 3, com 78% e a menor, para o clone 4, com 39%, devido, principalmente, a abscisão foliar acarretada pelo déficit hídrico. Em relação ao acúmulo de matéria seca das raízes as maiores reduções ocorreram para os clones 5 e 3 com 74,3 e 67,39 % e a menor para o clone 2 com 34,5%.

O clone 5 formou o grupo que apresentou o menor valor para a relação raiz/parte aérea no manejo déficit 2, indicando ser o clone com estratégia ineficiente para o estabelecimento em solos sob deficiência hídrica.

O déficit hídrico promoveu a redução da área foliar dos seis clones. Sob o manejo déficit 2, o grupo formado pelo clone 3 apresentou menor área foliar, causada, principalmente, pela abscisão foliar. Após a retomada da irrigação no manejo déficit 1 o grupo formado pelos clones 1 e 2 apresentaram a maior

recuperação em área foliar. Os clones 1, 2 e 4 formaram o grupo de clones com maior área foliar sob o manejo sem déficit, e também fizeram parte do grupo de clones que atingiram os maiores valores de área foliar sob o manejo de déficit 2.

O déficit hídrico afetou negativamente o crescimento em altura e diâmetro dos clones estudados. Na avaliação de altura os clones 2 e 4 foram os que apresentaram maior crescimento sob déficit 2. Para o diâmetro, nenhum clone, dentro dos respectivos manejos diferiu estatisticamente.

Os clones 1, 2 e 4 apresentaram os valores mais altos de potencial hídrico foliar nas plantas submetidas ao déficit hídrico ao longo das duas campanhas realizadas, mostrando obter mecanismos eficientes no controle de perda de água, já que apresentaram as menores taxas transpiratórias e menores valores de condutância estomática.

O déficit hídrico promoveu a redução dos valores da fotossíntese, condutância estomática, transpiração de todos os clones. O clone 3 apresentou menores valores de fotossíntese, condutância estomática e transpiração quando submetido ao déficit hídrico nas duas campanhas realizadas. O clone 6 apresentou maior transpiração no nível de manejo sem déficit e sob déficit em relação aos demais clones, sugerindo elevado consumo de água pelas plantas.

Após a retomada da irrigação por 55 dias, todos os clones recuperaram suas taxas fotossintéticas similares às registradas pelos clones mantidos sem déficit.

Com base nos resultados das avaliações das características morfológicas do crescimento e das características fisiológicas, o clone 3, seguido do 5 e 6, se mostraram mais sensíveis à deficiência hídrica. Contrariamente os clones 1, 2, 4 foram os mais tolerantes.

VI. ANEXOS

ANEXOS

TABELA 1A - Resumo da análise de variância para matéria seca total e relação raiz/parte aérea de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

Fontes de variação	G.L	Quadrados médios	
		Matéria seca total	Relação raiz/parte aérea
Déficit	2	2190334**	66,46297*
Clone	5	261346,1**	44,6407*
Déficit x Clone	10	22871,06*	1,598185**
Resíduo	36	9870,766	33,38889
Total	53		
CV(%)		10,86	16,34

* e ** = Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

TABELA 2A - Resumo da análise de variância para aérea foliar, altura e diâmetro do coleto de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos.

Fontes de variação	G.L	Quadrados médios		
		Área foliar	Altura	Diâmetro
Déficit	2	5500459000**	20322,69**	502,8753**
Clone	5	184175800**	1731,052**	63,88066**
Déficit x Clone	10	51915670**	433,751 ^{ns}	7,100131 ^{ns}
Resíduo	36	26291980	282,8518	14,84084
Total	53			
CV(%)		14,39	10,77	12,08

* e ** = Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

TABELA 3A - Resumo da análise de variância para a fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), e transpiração (E) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos durante a primeira campanha de campo, às 10:00 horas.

Fontes de variação	G.L	Quadrados médios		
		A	Gs	E
Déficit	1	2454,810**	1,264349**	354,1452**
Clone	5	37,55817**	0,04677673**	8,937206**
Déficit x Clone	5	84,76884**	0,04525673**	8,176968**
Resíduo	36	1,360193	0,00149608	0,6066884
Total	47			
CV(%)		9,51	16,70	18,99

* e ** = Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

TABELA 4A - Resumo da análise de variância para o potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_h) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos durante a primeira campanha de coleta de dados.

Fontes de variação	G.L	Quadrados médios
		ψ_h
Déficit	1	750,7599**
Clone	5	24,53133**
Déficit x Clone	5	21,89400*
Resíduo	24	6,084717
Total	35	
CV(%)		41,57

* e ** = Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

TABELA 5A - Resumo da análise de variância para a fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), e transpiração (E) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos durante a segunda campanha de campo, às 10:00 horas.

Fontes de variação	G.L	Quadrados médios		
		A	Gs	E
Déficit	2	183,4547**	0,0045557 ^{ns}	4,728634*
Clone	5	18,72814**	0,05994556**	7,025401**
Déficit x Clone	10	4,988984**	0,01318889 ^{ns}	7,262980**
Resíduo	54	1,745971	0,01460185	1,481295
Total	71			
CV(%)		16,21	57,01	20,32

* e ** = Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

TABELA 6A - Resumo da análise de variância para o potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_h) de plantas de seis clones de eucalipto, crescendo em vasos sob diferentes manejos hídricos durante a segunda campanha de campo .

Fontes de variação	G.L	Quadrados médios
		ψ_h
Déficit	2	26,09055**
Clone	5	0,7425554*
Déficit x Clone	10	1,393444**
Resíduo	36	0,1790740
Total	53	
CV(%)		20,31

* e ** = Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

